

Agroforestería en las Américas

Nº 51 2021



Resultados del Programa Centroamericano de Gestión Integral de la Roca del Café -PROCAGICA



Unión Europea



Solutions for environment and development
Soluciones para el ambiente y desarrollo



CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza) es un centro regional dedicado a la investigación y la enseñanza de posgrado en agricultura, manejo, conservación y uso sostenible de los recursos naturales. Sus miembros son Belice, Bolivia, Colombia, Costa Rica, El Salvador, Guatemala, Honduras, México, Nicaragua, Panamá, Paraguay, República Dominicana, Venezuela y el Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA).

Comité Editorial

Eduardo Somarriba Chavez

Elias de Melo Virginio Filho

Rolando Cerda

Correspondencia

Tecnología de Información y Comunicación
Sede Central, CATIE
Cartago, Turrialba, 30501
Costa Rica
Teléfono: (506) 2558-2000
comunica@catie.ac.cr
www.catie.ac.cr

No. 51, 2021

Agroforestería en las Américas no asume la responsabilidad por las opiniones y afirmaciones expresadas por los autores en sus páginas. Las ideas de los autores no reflejan necesariamente el punto de vista de la institución.

Se autoriza la reproducción parcial o total de la información contenida en esta revista siempre y cuando se cite la fuente.

Este proyecto, coordinado a nivel regional por IICA, contó con el financiamiento de la Unión Europea.



Créditos

Dirección técnica:

Elias de Melo Virginio Filho

Revisores técnicos:

Rolando Cerda, Fernando Casanoves, Felipe Peguero

Revisores técnicos invitados:

Oriana Valle, Mirna Barrios, Elena Florian

Coordinación:

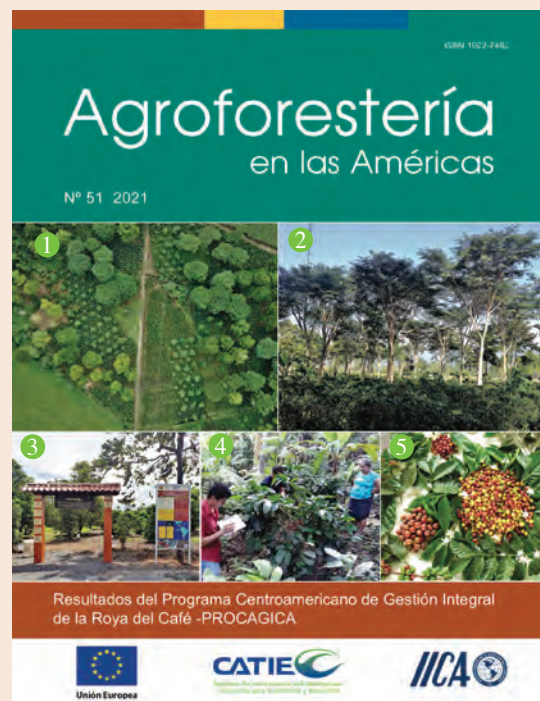
Mariela E. Leandro Muñoz

Fotografías:

Portada: Milton Martinez (foto 1); Francisco Navarrete (foto 4); Elias de Melo (foto 2); Carlos Cordero (foto 3 y 5)

Corrección de estilo: Lorena Orozco

Diagramación: Silvia Francis, Tecnología de Información y Comunicación, CATIE



Título:

Agroforestería y la producción de café en el contexto alternativas a la crisis climática
RESULTADOS DEL PROYECTO CATIE-PROCAGICA-IICA-UE:
“Gestión integral de la roya del café en América Central y Caribe”

<http://bco.catie.ac.cr:8087/portal-revistas/index.php/AGRO>

Editorial

Agroforestería y la producción de café en el contexto de alternativas a la crisis climática5

Reseñas de resultados del proyecto

Reseña de resultados del componente del Instituto Interamericano de Agricultura (IICA).....7

Reseña de resultados del componente desarrollado por el Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE)9

Reseña de resultados del componente CIRAD-PROCAGICA-IICA-UE.....11

Análisis y evaluación de los sistemas de transferencia de tecnología en manejo integral de café en países integrantes del PROMECAFE
Edgar Henrique Abril, Elias de Melo Virgínio Filho, Felipe Peguero, Bayron Medina13

Fortalecimiento de plataformas nacionales y regional de investigación y transferencia como apoyo a pequeños y medianos productores de café de países que integran el PROMECAFE
Elias de Melo Virgínio Filho, Bayron Medina, Jacques Avelino, Laércio Zambolim, Eduardo Somarriba, Cristian Lizardo, Miguel Barquero, Mario E. Chocooj, Julio Grande, Andrea Zamora, Quisqueya Pérez, Carmen Arjona, René León Gómez, Dulce Olbin, Xinia Chávez, Carlos Fonseca, Victor Vargas, Omar Funes, Mario Ordóñez, Gabriela Jiménez, Adán Hernández, Miguel Obando, Cinthya Gonzales, Róger Bolaños, Marco Tulio Duarte, Norvin Sepúlveda, Eduardo Say, Ever Cruz, José Sebastián Marcucci, Calixto García, Harold Gamboa39

El estado de las NAMA-café y lineamientos regionales para iniciativas sobre café y clima en América Central, República Dominicana y México
Elias de Melo Virgínio Filho, Bayron Medina, René León Gómez, Víctor Vargas, Gabriela Jiménez, Julie Lennox, Mariela Meléndez, Mario E. Chocooj.....55

Red de parcelas de experimentación y validación participativa de prácticas innovadoras para manejo integral y control de plagas y enfermedades en cafetales de Centroamérica
Arlene López-Sampson, Elias de Melo Virgínio Filho, Eduardo Somarriba, Bayron Medina, Harold Gamboa, José Sebastián Marcucci, Marco Tulio Duarte, Omar Funes, Carlos Rubén Núñez, Calixto García, Adán Hernández, Julio Grande, Miguel Obando, Cinthya González, José Eduardo Escobar, Raúl Gutiérrez, Mauricio Carache, Félix Pozo, Norvin Sepúlveda, Eduardo Say, Ever Cruz, Carlos Jones León, Fernando Casanoves, Carlos Viera, Francisco Navarrete, Sophya Reyes, Elvín Navarrete, Nery Herrera, Josué Guerra.....67

Acciones para el fortalecimiento de capacidades y contribuciones al sector café en República Dominicana
Rolando Cerda, Mirna Barrios, Amadeo Escarramán, Freddy Cruz, Luz Mañana, Toribio Contreras, Héctor Jiménez, Elias de Melo Virgínio Filho.....84

Fortalecimiento de capacidades a extensionistas y familias productoras en el marco del Programa Centroamericano de Gestión Integral de la Roca del Café (CATIE-PROCAGICA-IICA-UE)
Bayron Medina, Elias de Melo Virgínio Filho, Napoleón Matute, Carlos Fonseca, Mario E. Chocooj, Rigoberto Martínez, Roger Bolaños, René León Gómez.....89

Fortalecimiento de las capacidades regionales para la producción clonal de híbridos F1 de café
Francisco Mesén-Sequeira, Luis Diego Jiménez-Alvarado, Elias de Melo Virgínio Filho, Bayron Medina, Arlene López, Eder Leonardo Arias, Juan Rafael López, Róger Ilich Bolaños, Yisneiry Mercedes Tapia Polanco, Sara Raquel Cortez Recinos ...97

Fortalecimiento de la colección internacional de café para el apoyo de la investigación en roya (*Hemileia vastatrix*) dentro del marco de la plataforma inter-institucional de países de PROMECAFE
Carlos A. Cordero, William Solano, Jacques Avelino, Bayron Medina, Eduardo Somarriba, Elias de Melo Virgínio Filho103

Aportes a la investigación, fortalecimiento de capacidades y formulación de políticas para el sector cafetalero en 20 años de ensayos de sistemas agroforestales con café
Elias de Melo Virgínio Filho, Eduardo Somarriba, Rolando Cerda, Fernando Casanoves, Carlos Cordero, Jacques Avelino, Olivier Rouspard, Bruno Rapidel, Philippe Vaast, Jean Michel Harmand, Charles Staver, John Beer, Argenis Mora, Victor Hugo Morales, Carlos Fonseca, Víctor Vargas, Luis Guillermo Ramírez, Gabriela Soto, Marney Isaac, Lolita Durán Umaña, Ana Tapia Fernández, Luis Fernando Romero, René León Gómez, Harold Gamboa, Pedro Diniz, Osvaldo Viu Serrano Junior, Leila Pires Bezerra, Zigomar Menezes de Souza, Carlos Caicedo, Jimmy Pico, Florencia Montagnini, Jeremy Haggard..... 107



Práctica de campo con técnicos de Nicaragua, 2019.
Foto: F. Escorcía



Imagen aérea (dron) de los límites entre el bloque 1 (derecha) y el 2 (izquierda) que ilustra los gradientes microclimático y agroecológico variados producidos en el ensayo de largo plazo de SAF con Café, CATIE, Turrialba, Costa Rica. Foto: M. Martínez, 2018



Parcela de variedad mejorada de café con riego y barreras rompevientos de maderables, ornamentales y alimentos.
Finca A. Granados - Coopeldos, marzo 2018
Fotos: E de M Virgínio Filho



Primer taller de la plataforma nacional de investigación y transferencia de Guatemala, 21 de marzo de 2018. Foto: E. de M. Virginio Filho.



Taller con técnicos y organizaciones de productores, Nicaragua, 2017. Foto: R. Gutierrez.



Manejo integral de sistemas agroforestales, finca de validación, Rancho Grande, Matagalpa, Nicaragua. Foto: E. de M. Virginio Filho

Artículo invitado

Monitoreo de servicios ecosistémicos en un observatorio de cafetales agroforestales. Recomendaciones para el sector cafetalero

Olivier Rounsard, Clémentine Allinne, Karel Van den Meersche, Philippe Vaast, Bruno Rapidel, Jacques Avelino, Christophe Jourdan, Gueric Le Maire, Jean-Marc Bonnefond, Jean-Michel Harmand, Jean Dauzat, Alain Albrecht, Tiphaine Chevallier, Bernard Barthès, Anne Clément-Vidal, Federico Gómez-Delgado, Fabien Charbonnier, Laura Benegas, Kristen Welsh, Rintaro Kinoshita, Rémi Vézy, Junior Pastor Pérez-Molina, John Kim, Simon Taugourdeau, Elsa Defrenet, Jérôme Nespoulous, Florian Rançon, Florian Guidat, Aurélie Cambou, Maxime Soma, Carolin Mages, Florian Schnabel, Iván Prieto, Delphine Picart, Maxime Duthoit, Alain Rocheteau, Frédéric Do, Elias de Melo Virginio Filho, Rachida Moussa, Yves Le Bissonais, Christian Valentin, Ricardo Sánchez-Murillo, Catherine Roumet, Alexia Stokes, Lee Vierling, Jan Eitel, Erwin Dreyer, Laurent Saint-André, Anders Malmer, Denis Loustau, Marney Isaac, Adam Martin, Anders Priemé, Bo Eberling, Mikael Madsen, Alfonso Robelo, Diego Robelo, Carlo Borgonovo, Peter Lehner, Guillermo Ramírez, Manuel Jara, Rafael Acuña Vargas, Alejandra Barquero, Carlos Fonseca, Frédéric Gay152

Avances de Investigación

El potencial de la mecanización en el manejo de los árboles asociados al cultivo del café. Rol en la adaptación, mitigación y sostenibilidad del cultivo ante el cambio climático

Loïc Basnonville, Elias de Melo Virginio Filho, Luis Fernando Romero Molina165

Comportamiento vegetativo de *Coffea arabica* var Caturra en asocio con *Terminalia amazonia* y *Erythrina poeppigiana* en sistemas agroforestales bajo manejos convencional y orgánico en Turrialba, Costa Rica

Gabriela Sanchez Dolenc, Elias de Melo Virginio Filho, Fernando Casanoves171

Rentabilidad económica de sistemas agroforestales con café: estudio de largo plazo en Turrialba, Costa Rica

Isabella Q. Soncim, Elias de Melo Virginio Filho, Ciro A. Righi, Ricardo Shiota177

Actividad biológica de suelo: indicadores para el diseño y manejo de sistemas agroforestales con café

Liliana Bueno López, Elias de Melo Virginio Filho, Ana Vásquez Vela², Fernando Casanoves185

Análisis sobre vulnerabilidad y capacidad adaptativa al cambio climático de fincas cafetaleras en Guatemala

Catherine J. Schulz, Elias de Melo Virginio Filho, Guillermo Detlefsen, Luis Diego Jiménez, Mario E. Chocooj194

Evaluación de prácticas para reducir la vulnerabilidad y aumentar la capacidad adaptativa en fincas cafetaleras ante el cambio climático en Costa Rica

Itzayana Garth Lira, Elias de Melo Virginio Filho, Rolando Cerda, Guillermo Detlefsen, Carlos Jones202

Vulnerabilidad y capacidad adaptativa de fincas cafetaleras de Turrialba, Costa Rica

Fay I. Garnett Simmons, Elias de Melo Virginio Filho, Guillermo Detlefsen, Rolando Cerda213

Evaluación de prácticas para la reducción de la vulnerabilidad y el aumento de la capacidad adaptativa ante el cambio climático en fincas cafetaleras de Honduras

Katia Plazaola Safrián, Elias de Melo Virginio Filho, Alejandro Imbach, Guillermo Detlefsen, Gabriela Jiménez220

Sistemas agroforestales de café: ingreso y autoconsumo familiar de pequeños productores en República Dominicana

Yisneiry Mercedes Tapia Polanco, Rolando Cerda, Elias de Melo Virginio Filho³, Leila Bagny Beilhe, Amadeo Escarramán229

Reseñas de publicaciones CATIE-PROCAGICA-IICA-UE248

Agroforestería y la producción de café en el contexto de alternativas a la crisis climática

Una de las contribuciones más importantes de la revista *Agroforestería en las Américas*, en sus recientes ediciones, ha sido la presentación de ediciones especiales con resultados y aprendizajes de diferentes proyectos agroforestales de interés e impactos positivos importantes. En esta oportunidad, este número especial de la revista, presenta los enfoques, avances, logros y desafíos tratados desde el componente de investigación/validación aplicada y el fortalecimiento de capacidades (bajo la coordinación del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, CATIE) del Programa Centroamericano de Gestión Integral de la Roca del Café (PROCAGICA), financiado por la Unión Europea y bajo la dirección regional del Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA).

Los impactos importantes, verificados en toda América Central y Caribe, por epidemias como la roya (*Hemileia vastatrix*) a partir del año 2012, cambiaron radicalmente el contexto de la caficultura, en su gran mayoría con plantaciones de variedades susceptibles. Las pérdidas económicas generaron una crisis importante que afectó en gran medida a pequeños y medianos productores. En este sentido, se determinó la urgencia de validar estrategias e innovaciones que contribuyeran al rediseño de la caficultura y, en particular, que fortalecieran la capacidad adaptativa de familias cafetaleras ante el cambio climático.

Los propósitos y acciones de PROCAGICA se orientaron a **“ampliar, complementar y consolidar un conjunto de iniciativas existentes en la región dirigidas a mejorar la resiliencia de la población más vulnerable.”** Para la implementación se tuvo como base el apoyo a las **“autoridades regionales y a las instituciones científicas”** para **“desarrollar herramientas y mecanismos específicos, y a los pequeños y medianos productores de café a mejorar sus capacidades de producción y resiliencia frente a las condiciones adversas, crónicas o agudas, derivadas del cambio y variabilidad climática”**

(https://eeas.europa.eu/delegations/honduras/47147/programa-centroamericano-de-gesti%C3%B3n-integral-de-la-roya-del-caf%C3%A9-procagica_bs).

El componente CATIE-PROCAGICA-IICA-UE, inicialmente tuvo un período de ejecución de noviembre de 2016 a enero de 2021. Sin embargo, con el impacto generado por la pandemia del COVID 19, se dio una prórroga para las actividades de campo que se extendió hasta agosto de 2021.

Las acciones regionales en América Central y el Caribe se coordinaron con el Programa Cooperativo Regional para el Desarrollo Tecnológico y Modernización de la Caficultura (PROMECAFE). En los países las actividades fueron desarrolladas en colaboración con los entes institucionales representantes del sector cafetalero de Guatemala (Asociación Nacional del Café, ANACAFE); El Salvador (Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal, CENTA Café, Consejo Salvadoreño del Café); Honduras (Instituto Hondureño del Café, IHCAFE); Costa Rica (Instituto del Café, ICAFE); Nicaragua (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, INTA); Panamá (Ministerio de Desarrollo Agropecuario, MIDA, Instituto de Investigación Agropecuaria Forestal, IDIAP) y República Dominicana (Instituto Dominicano del Café, INDOCAFE). El CATIE también ejecutó acciones específicas de PROCAGICA en colaboración con el Consejo Agropecuario Centroamericano (CAC) y el Centro de Cooperación Internacional en Investigación Agronómica para el Desarrollo (CIRAD, Francia).

Este número especial de la revista *Agroforestería en las Américas* socializa con el público en general, y en particular con líderes locales, familias y técnicos, equipos de investigación y grupos gestores, una sesión de reseñas de enfoques y resultados del PROCAGICA (CATIE-IICA-UE), con énfasis en el componente de investigación/validación aplicada y fortalecimiento de capacidades. Una segunda sesión corresponde a los avances de diferentes investigaciones sobre la temática de las interacciones

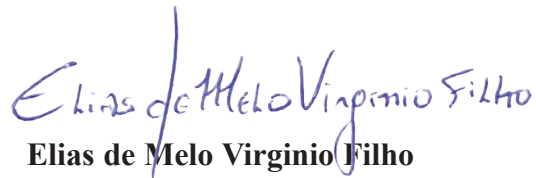
agroecológicas y servicios ecosistémicos en sistemas agroforestales con café, innovaciones para la adaptación y mitigación ante el cambio climático y la rentabilidad económica de diferentes enfoques experimentales de sistemas agroforestales con café. Por último, se comparten reseñas de diferentes publicaciones generadas en el marco de PROCAGICA.

Frente a la constante necesidad de transformación de los enfoques productivos y el desarrollo inte-

gral de un sector cafetalero en sintonía con la sostenibilidad, sinergias ecológicas y una economía equitativa, se espera que el conocimiento generado pueda reflejarse en un mayor apoyo a la masificación de enfoques y prácticas que promuevan una mejor calidad de vida para familias productoras, sociedad y consumidores, a partir de la agricultura regenerativa de los agroecosistemas, instrumentalizada por los sistemas agroforestales adecuadamente diseñados y manejados.



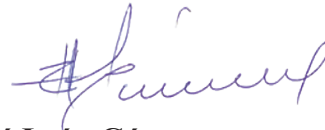
Dr. Muhammad Ibrahim
Director General de CATIE



Elias de Melo Virginio Filho
Coordinador CATIE-PROCAGICA-IICA-UE



Harold Gamboa
Coordinador Unidad Ejecutora Regional
IICA-PROCAGICA-UE



René León Gómez
Secretario Ejecutivo PROMECAFE

Reseñas de resultados del proyecto

Reseña de resultados del componente del Instituto Interamericano de Agricultura (IICA)

La acción de la Unión Europea y del IICA, orientada al apoyo de los esfuerzos nacionales y regionales para controlar la roya del café y el fortalecimiento de la resiliencia de los pequeños y medianos productores ante los efectos adversos que les presenta el cambio y la variabilidad climática, ha generado importantes logros y lecciones aprendidas en los países de intervención (Guatemala, El Salvador, Honduras, Nicaragua, Costa Rica, Panamá y República Dominicana), pese a los grandes desafíos que recurrentemente representan los bajos precios internacionales del café.

La rentabilidad de la caficultura es, actualmente, quizá el principal reto a enfrentar debido a que de ello depende el logro de la sostenibilidad de esta importante actividad productiva para los países productores de la región. En este contexto, el Programa Centroamericano de Gestión Integral de la Roya del Café (PROCAGICA), ha invertido esfuerzos importantes dirigidos hacia la transformación productiva e innovación de la caficultura de manera participativa con pequeñas y medianas familias productoras de café de la región, mediante la puesta en marcha de una estrategia integral.

Esta estrategia, donde el incremento de la productividad y la diversificación productiva constituyen dos de sus principales propósitos, se ha basado en la innovación tecnológica y en la aplicación de buenas prácticas, como el medio para lograr la resiliencia y sostenibilidad de la caficultura. Estas resultan ser herramientas indispensables para el manejo de los riesgos, en un contexto de estrecha relación entre la agricultura y el clima.

El incremento de la productividad y el desarrollo de sistemas productivos más competitivos requieren del uso eficiente de los factores productivos primarios y, fundamentalmente, del desarrollo de procesos de innovación tecnológica que mejoren el uso de estos factores y permitan incrementar los rendimientos de la producción. Es aquí donde la investigación y la transferencia de tec-

nología se convierten en elementos diferenciadores para contribuir con el objetivo de aumentar los rendimientos, reducir costos de producción y hacer de la caficultura una actividad más competitiva.

La aplicación de esta estrategia ha implicado fomentar la innovación, incrementar el conocimiento y dotar de una visión holística a las partes interesadas, principalmente a los pequeños productores de café, para que mejoren sus sistemas productivos, incrementen su resiliencia y puedan asegurar una mejor sustentabilidad.

Lo anterior ha sido viable en la medida en que se fue logrando obtener una mayor sinergia entre los diferentes vectores de intervención que contempló el PROCAGICA (sistema de alerta temprana, investigación aplicada, transferencia de conocimientos, manejo integrado de fincas y fortalecimiento institucional), desde el nivel regional y local. Todo esto se consolidó positivamente conforme fue avanzando el Programa y contribuyó de manera importante a su posicionamiento en los territorios y países donde implementó sus acciones.

Los diferentes enfoques, metodologías y herramientas utilizadas por CATIE en las actividades dirigidas al fortalecimiento de la investigación aplicada para la renovación de plantaciones, el manejo integrado de plagas y enfermedades y la diversificación de los sistemas de producción, favorecieron un diálogo directo y horizontal entre los actores y personal técnico de las instituciones responsables de la investigación y transferencia de tecnologías en el sector café de los países de intervención.

Dentro de este enfoque de trabajo, se consideraron las condiciones sociales, culturales, agroecológicas y económicas bajo las cuales se desarrolla la caficultura de cada país, así como las condiciones socio-organizativas más propicias para realizar un aporte más efectivo en cada territorio de intervención del programa. De esta manera, a nivel regional se contribuyó significativamente al fortalecimiento de la plataforma de

investigación y, a nivel nacional, reforzando las actividades de experimentación a través de la red de parcelas instaladas en los diferentes países y, además, de complementar su trabajo con el fortalecimiento de espacios de intercambio de experiencias con las redes nacionales de extensión y la generación de publicaciones técnicas.

Los resultados generados a partir de las diferentes acciones implementadas en investigación tecnológica

y transferencia de tecnologías bajo el liderazgo de CATIE, que se presentan en esta edición, demuestran la importancia de continuar trabajando permanentemente e invirtiendo esfuerzos y recursos en la investigación y desarrollo de la caficultura, así como en el fortalecimiento de capacidades a productores actuales y futuros para contribuir con el propósito de reducir la vulnerabilidad de las familias productoras y sus unidades productivas ante el cambio y la variabilidad climática.



Reunión del Comité Técnico Regional de PROCAGICA con representantes de IICA, UNIÓN EUROPEA, CATIE, CIRAD, CAC y PROMECAFE, Managua, Nicaragua, 15 de junio de 2017. Foto: IICA-Nicaragua.

Reseñas de resultados del proyecto

Reseña de resultados del componente desarrollado por el Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE)

El agravamiento de los impactos generados por el cambio climático, en particular vinculados a daños por plagas y enfermedades, así como las alteraciones en el ciclo fenológico del cultivo del café y sus consecuencias productivas y socio-económicas, han sido una de las principales motivaciones que generaron el Programa Centroamericano de Gestión Integral de la Roya (PROCAGICA). Este Programa se ejecutó entre 2016 y 2021 bajo la coordinación regional de IICA y el financiamiento de la Unión Europea.

En el marco de PROCAGICA, el CATIE coordinó y ejecutó acciones del componente de investigación aplicada, asistencia técnica y fortalecimiento de capacidades de plataformas nacionales y regionales. Las acciones del CATIE se desarrollaron en estrecha colaboración con Programa Cooperativo Regional para el Desarrollo Tecnológico y Modernización de la Caficultura (PROMECAFE); el Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA); el Consejo Agropecuario Centroamericano (CAC); la Asociación Nacional del Café (ANACAFE), en Guatemala; el Instituto del Café (ICAFE), en Costa Rica; el Instituto Hondureño del Café (IHCAFE), en Honduras; el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) en Nicaragua; el Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal (CENTA CAFÉ) y el Consejo Salvadoreño del Café, El Salvador; el Ministerio de Desarrollo Agropecuario - Instituto de Innovación Agropecuaria de Panamá (MIDA-IDIAP), en Panamá; el Instituto Dominicano del Café (INDOCAFE), en República Dominicana y el Centro de Cooperación Internacional en Investigación Agronómica para el Desarrollo (CIRAD), Francia.

Los términos de referencia del Programa del CATIE con IICA-PROCAGICA-UE, buscaron contribuir a la recuperación de la capacidad productiva de los cafetales que fueron afectados por la roya con innovaciones para el diseño y manejo de sistemas agroforestales con

café en un contexto de cambio climático, orientado a “facilitar la adaptación a la variabilidad y el cambio climático de los pequeños y medianos productores de café de Centroamérica, Panamá y República Dominicana, mediante la investigación aplicada, validación en campo, transferencia de tecnologías y asistencia técnica”. Para la ejecución de las acciones CATIE, se promovieron los temas transversales de equidad de género, inclusión generacional, resiliencia, sostenibilidad ambiental, seguridad alimentaria y nutricional y derechos humanos.

A continuación se presentan, a manera de síntesis, las actividades ejecutadas por CATIE en el marco del PROCAGICA y, a lo largo de la presente edición de la Revista Agroforestería en las Américas, se presentan detalladamente los alcances de cada una.

ACTIVIDADES DESARROLLADAS

Fortalecimiento y plataformas de investigación y transferencia

Tanto a nivel regional (con todos los países integrantes), como a nivel de país, se trabajó con plataformas técnicas de investigación y asistencia técnica para el seguimiento y fortalecimiento de las agendas de intervención sobre las temáticas afines. Para el desarrollo de esta actividad se conformaron plataformas institucionales, talleres y reuniones (presenciales y virtuales). Por otro lado, a nivel de los comités técnico y directivo de PROMECAFE, se establecieron intercambios y hubo una retroalimentación constante.

Entre los eventos realizados destacan las acciones regionales para dar seguimiento a las estrategias y buenas prácticas de acciones para el sector cafetalero en el marco de cambio climático. Con el cierre del CATIE-PROCAGICA, se consolidó el estado del arte de las acciones de investigación y fortalecimiento de capacidades, así como los elementos orientadores para el fortalecimiento de las acciones.

Toda la información generada por la presente actividad, así como en las siguientes, se convirtió en insumos para los ajustes de la planificación estratégica del Programa Cooperativo Regional para el Desarrollo Tecnológico y Modernización de la Caficultura (PROMECAFE).

Análisis de los sistemas de transferencia de tecnologías y materiales de extensión en los países y territorio

Inicialmente se realizó un estudio que aportó información actualizada sobre el estado de los servicios en la región para el fortalecimiento de capacidades y materiales de capacitación y extensión. Posteriormente, con el inicio de las actividades, se desarrollaron una serie de eventos para la socialización de la información generada, la cual fue la base para definir acciones para el mejoramiento de las limitantes identificadas.

Planificación e implementación de 200 parcelas de investigación y demostración en campos de agricultores y seguimiento de las tecnologías diseñadas

Inicialmente se planificó el establecimiento de parcelas de investigación/validación aplicada en 200 fincas de familias productoras en cuatro países (Guatemala, Honduras, El Salvador y Nicaragua, 50 fincas por país) y, posteriormente, se apoyó una red de 24 fincas en Costa Rica, en colaboración con MAG-COOCAFE-FUNCAFOR-ICAFE-FUNDECOOPERACIÓN-NAMA CAFÉ-Fondo de Adaptación. Así es como se logró sobrepasar la meta con un establecimiento total de 224 fincas de aprendizajes. Los temas desarrollados en la red de fincas se indican a continuación.

Temas de investigación/innovación:

1. Diseño y manejo integral de sistemas agroforestales
2. Comportamiento de variedades mejoradas
3. Protocolos optimizados de control químico
4. Protocolos de control orgánico
5. Fertilización de cafetales
6. Mecanización en el manejo de sombra

Investigación sobre monitoreo de razas de roya

Considerando la gravedad de los impactos masivos de la roya, esta actividad se basó en la profundización del monitoreo y generación de conocimientos específicos sobre los efectos de las mutaciones generadas en las razas de roya que se desarrollaron posteriormente al 2012. Las actividades que se llevaron a cabo corresponden a: a) seguimiento a la plataforma regional y monitoreo de roya; b) estudios colaborativos sobre razas de roya en países miembros de PROMECAFE

(con énfasis en Guatemala, Honduras, El Salvador, Costa Rica y República Dominicana), con el apoyo del fitopatólogo Laércio Zambolim de la Universidade Federal de Viçosa (UFV), Brasil; c) fortalecimiento de laboratorios de fitopatología de países PROMECAFE; d) fortalecimiento del laboratorio de biología molecular del ICAFE como apoyo a los esfuerzos regionales del estudio de la roya y mejoramiento genético (coordinación IICA, ICAFE y CATIE); e) seguimiento a los estudios de interacciones plagas-enfermedades en sistemas agroforestales; f) apoyo al fortalecimiento de la colección internacional de café, ubicada en el CATIE, Turrialba, Costa Rica; g) seguimiento a los acuerdos de intercambio de material genético de café conjuntamente con PROMECAFE y los institutos nacionales de café; h) con el grupo de mejoradores genéticos se implementó en los planes de inversión el establecimiento/fortalecimiento de viveros a partir de reproducción clonal de materiales mejorados (ANACAFE, IHCAFE, CSC, INTA) y se brindó apoyo a INDOCAFE para la elaboración de la propuesta. El componente contó con la asesoría del Banco de Semillas del CATIE.

Elaboración, publicación y distribución de materiales de extensión

Como soporte a las diferentes actividades del Programa, así como al conocimiento general y a los procesos de fortalecimiento de capacidades de diferentes actores, se diseñaron y elaboraron diferentes publicaciones. Estas publicaciones están reseñadas más adelante, en la sección "Reseñas de publicaciones CATIE-PROCAGICA-IICA-UE". Todo el material generado es de dominio público y está disponible en línea. Los materiales producidos son variados, van desde afiches, guías y manuales técnicos, hojas técnicas, hasta videos sobre diferentes temáticas.

Cursos de formación de extensionistas de los entes nacionales

Dentro de este componente se desarrollaron una serie de eventos nacionales y a nivel regional con el propósito de actualizar y propiciar el aprendizaje del personal técnico del sector cafetalero vinculado a la red de instituciones cafetaleras en el contexto de PROCAGICA. Las actividades han contribuido a fortalecer temas claves del Programa, incluyendo manejo integral de plagas y enfermedades, sistemas agroforestales, cambio climático, alerta temprana, familia-género y juventud, y buenas prácticas en el contexto del cambio climático.

Reseñas de resultados del proyecto

Reseña de resultados del componente CIRAD-PROCAGICA-IICA-UE

Las acciones coordinadas por el Centro de Cooperación Internacional en Investigación Agronómica para el Desarrollo (CIRAD), en el marco del Programa Centroamericano de Gestión Integral de la Roya (PROCAGICA), tuvo como propósito el fortalecimiento de una Red Regional de Alerta Temprana (RRAT), para la gestión de riesgos en café a nivel centroamericano (red de instituciones SAF-café de Centroamérica). Las actividades se desarrollaron entre los años 2017 y 2021, con la participación de Costa Rica, El Salvador, Guatemala, Honduras, Nicaragua, Panamá y República Dominicana.

El subdelegado de CIRAD promovió la formación de sistemas nacionales de gestión de riesgos en café a través de la construcción de mesas o grupos pluri-institucionales, encargados de coordinar estos sistemas nacionales. Las instituciones que participaron en estos grupos tuvieron competencias complementarias, particularmente en aspectos socioeconómicos y en seguridad alimentaria y nutricional.

Para que las mesas operaran, el subdelegado CIRAD elaboró modelos de pronóstico del crecimiento

de la roya y de sus impactos socioeconómicos, los cuales se integraron en una plataforma denominada PERGAMINO (Figura 1), desarrollada para el intercambio de información armonizada y el pronóstico de los riesgos de la roya y otros riesgos socioeconómicos asociados. Para tener acceso a esta plataforma se debe acceder al siguiente sitio web: <https://www.redpergamino.net/>

La armonización de la información y el uso de herramientas en común, facilitaron el enlace de los sistemas nacionales a nivel regional. A este nivel hubo dos actores principales: Programa Cooperativo Regional para el Desarrollo Tecnológico y Modernización de la Caficultura (PROMECAFE), que es una red regional de instituciones que trabajan en café, la cual asumió el costo del sostenimiento de la plataforma PERGAMINO y el Consejo Agropecuario Centroamericano (CAC). Este último es un órgano político-técnico con competencias en manejo de riesgos en agricultura a nivel regional. PROCAGICA propició el establecimiento de relaciones entre estos dos actores para que las decisiones tomadas sobre el manejo de los riesgos en café se tradujeran en acciones de mayor impacto.



Taller regional en Managua, Nicaragua, 22 y 23 de octubre de 2019. Foto: P. Bommel

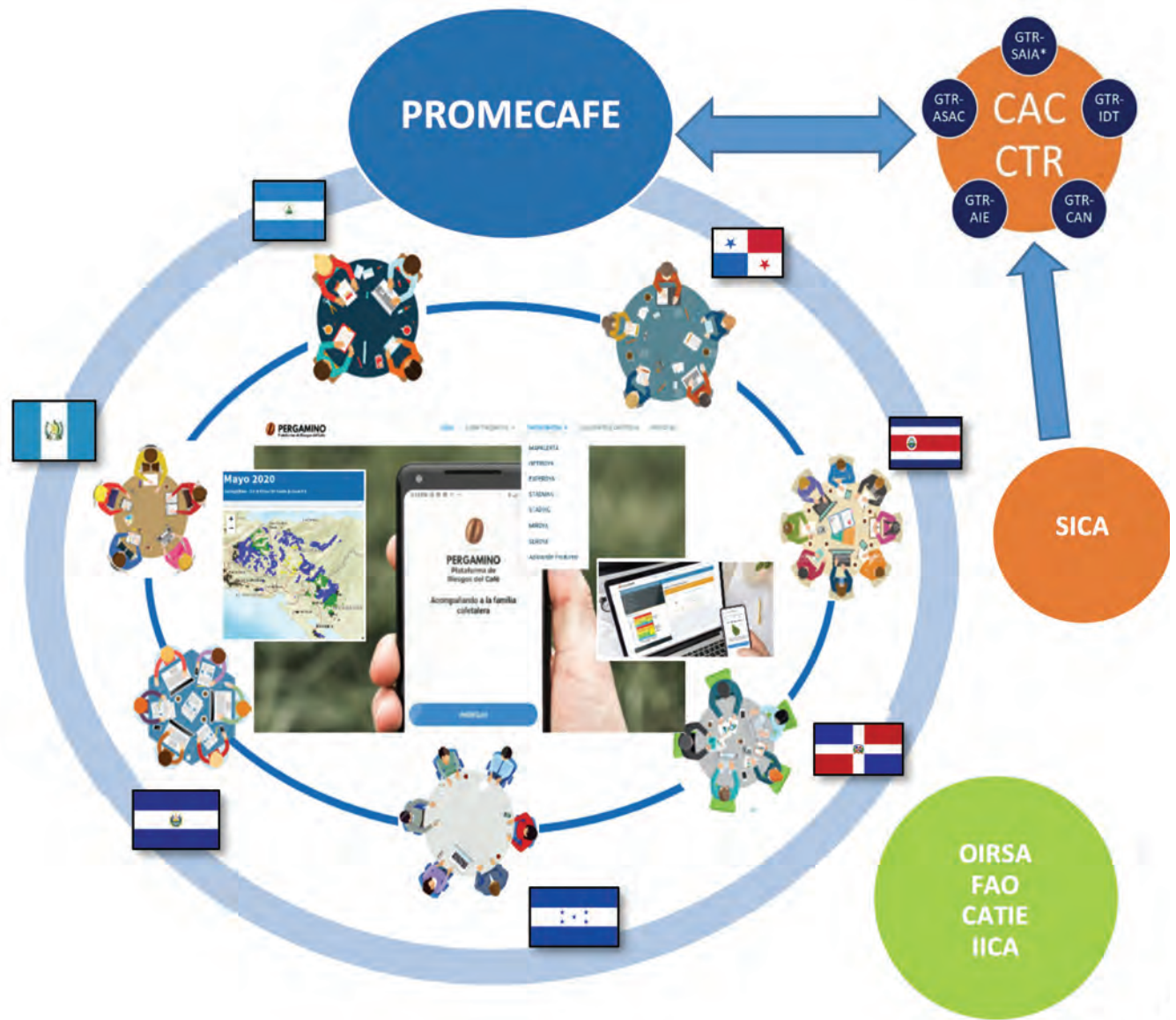


Figura 1. Integración de la plataforma PERGAMINO que permite el intercambio de información armonizada y el pronóstico de riesgos de la roya y otros riesgos socioeconómicos asociados

RESULTADOS Y AVANCES

Los productos y descripciones de estos resultados están disponibles en el sitio web:

<https://www.procagica-rrat.net/inicio>



Reseñas de resultados del proyecto

Análisis y evaluación de los sistemas de transferencia de tecnología en manejo integral de café en países integrantes del PROMECAFE*

Edgar Henrique Abril¹, Elias de Melo Virgínio Filho², Felipe Peguero², Bayron Medina³

RESUMEN

Conocer el contexto de los sistemas de asistencia técnica y capacitación en países que integran el PROMECAFE (Guatemala, Honduras, El Salvador, Nicaragua, Costa Rica, Panamá y República Dominicana), constituye una base determinante para apoyar las iniciativas de fortalecimiento de la caficultura frente a los grandes desafíos sociales, económicos y ambientales actuales. En este sentido, en el ámbito del Programa Regional IICA-PROCAGICA-UE, el CATIE coordinó un estudio realizado por consultoría independiente para analizar fortalezas y limitantes que deben ser consideradas en las diferentes iniciativas en marcha para mejorar la atención a las familias y empresas cafetaleras de los países. El estudio tuvo como base metodológica la revisión de información documental, entrevistas a informantes clave, visitas a la mayoría de los países y talleres de trabajo. Los resultados aportan elementos sobre la calidad y cobertura de los servicios de asistencia técnica y capacitación y resaltan su potencial para escalamiento. Aunque hay tendencias regionales, los resultados indican diferencias significativas entre los países. Se destacan también los grandes desafíos actuales que justifican una acción determinada de las instituciones para fortalecer su atención hacia los productores de café inmersos en la crisis climática y la inequidad de la distribución de riquezas generadas por el sector. Se presentan recomendaciones que buscan contribuir con el fortalecimiento de la asistencia técnica y los procesos de capacitación con enfoque de manejo integral de la caficultura.

Palabras clave: asistencia técnica, fortalecimiento de capacidades, evaluación de cobertura de servicios.

ABSTRACT

Knowing the context of technical assistance and training systems in countries that make up PROMECAFE (Guatemala, Honduras, El Salvador, Nicaragua, Costa Rica, Panama, and the Dominican Republic) constitutes a determining basis for supporting initiatives to strengthen the coffee farming industry against the current social, economic and environmental challenges. In this sense, within the IICA-PROCAGICA-EU Regional Program framework, CATIE coordinated a study carried out by an independent consultancy to analyze strengths and limitations that must be considered in the different ongoing initiatives to improve advisory systems for coffee families and companies in the countries. The methodological basis consisted of reviewing documentary information interviews with key informants, visits to most of the countries, and workshops. The results provide elements on the advisory systems' quality and coverage and highlight their potentials. Although there are regional trends, the results indicate significant differences across countries. It also highlights the current challenges that justify a determined action by the institutions to strengthen their attention to coffee producers immersed in the climate crisis and the inequity in the distribution of wealth generated by the sector. Recommendations are presented that seeks to contribute to the strengthening of technical assistance and training processes with a comprehensive management approach to coffee farming.

Keywords: technical assistance, capacity building, evaluation of service coverage.

INTRODUCCIÓN

El Programa Centroamericano de Gestión Integral de la Roya del Café (PROCAGICA), es una iniciativa regional que pretende contribuir a mejorar la situación socioeconómica que enfrenta el sector cafetalero de América Central y República Dominicana, tras el severo brote de la roya del café que afectó la producción del grano desde el 2012. El Programa espera, además, contribuir a la recuperación de la caficultura regional y a la promoción de modelos de producción económica, social y ambientalmente más sostenibles.

En la implementación del PROCAGICA trabajan, como socios estratégicos, el Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA), la Unión Europea (UE), el Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), el Centro de Cooperación Internacional en Investigación Agrícola para el Desarrollo (CIRAD, por sus siglas en francés), la Secretaría del Consejo Agropecuario Centroamericano (SECAC) y el Programa Cooperativo Regional para el Desarrollo Tecnológico y Modernización de la Caficultura (PROMECAFE).

* Artículo elaborado a partir del Informe Final de estudio por consultoría en el marco de componente del Proyecto CATIE-PROCAGICA-IICA-UE

1 Consultor independiente; enriqueabril@hotmail.com

2 CATIE-PROCAGICA-IICA-UE, Costa Rica

3 CATIE-PROCAGICA-IICA-UE, Guatemala

Dentro de los vectores de intervención definidos dentro del Programa, se encuentra el de transferencia de tecnologías, por lo que es necesario conocer qué sistemas se utilizan actualmente en los diferentes países para contextualizar la temática.

Hasta donde conocen los autores, no hay un estudio que sintetice los programas de asesorías participativas de la industria cafetalera de una manera sistemática. Adicionalmente, este documento síntesis permite a los tomadores de decisión entender las deficiencias, los retos y las oportunidades de mejora que tienen los sistemas de asesoría de cada país vinculado al PROMECAFE.

Este artículo aborda las buenas prácticas aplicadas a los procesos de transferencia de innovaciones tecnológicas, capacitación y fortalecimiento de las redes y consorcios de trabajo entre productores de café, extensionistas y organizaciones públicas y privadas con el fin de promover el desarrollo sostenible (de ahora en adelante, “asesorías”).

MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizaron visitas y entrevistas a informantes clave en los diferentes países prioritarios en el marco de PROCAGICA: Guatemala, Nicaragua, El Salvador, Honduras y República Dominicana; además se realizaron estudios complementarios y entrevistas virtuales con actores clave de Panamá. En Costa Rica se llevó a cabo un taller con actores clave, en noviembre de 2017. Se hizo un análisis y evaluación de los sistemas de transferencia de tecnología y de los materiales de extensión identificados y/o actualmente aplicados y usados en el manejo integral del café.

En la totalidad de los casos, el material documental se encontraba digitalizado, lo que facilitó su recolección y revisión para elaborar el presente diagnóstico. En los casos de países como Nicaragua, Panamá y República Dominicana fue necesario consultar otras fuentes secundarias para la revisión y análisis de la información requerida.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Sistemas de servicios de extensión y asistencia técnica por país

La información obtenida en cada país es muy valiosa porque contextualiza el trabajo que se ha venido realizando para la transferencia de tecnología en café. En el Cuadro 1 se presentan los principales datos de cada uno de los países meta del presente diagnóstico.

Como se puede observar, el recurso humano es muy limitativo en la región, con una tasa promedio de cobertura por parte de la institucionalidad de café superior a 725 productores por técnico; si se incluye a otros técnicos privados, esta cifra es de 264 productores/técnico.

Considerando la cobertura de técnicos, la institucionalidad aporta 2142 ha/técnico, mientras que si se incluyen los técnicos privados el aporte es de 777 ha/técnico. En los países que no cuentan con institutos de café, como es el caso de Nicaragua, El Salvador y Panamá, la asistencia técnica se da a través de la intervención de los servicios de extensión de los ministerios de agricultura y sus divisiones de café.

En el Cuadro 1 queda claro que la producción de café en la región se concentra principalmente en Honduras, Guatemala, Nicaragua y Costa Rica.

Cuadro 1. Principales estadísticas de café de Centroamérica, Panamá y República Dominicana

País	Producción 2016/2017 qq-oro-46 kg	Área cultivada (ha)	No. productores	No. técnicos institutos de café	No. técnicos otros actores (estimados)
Guatemala	5 478 261	304 500	125 000	165	150
El Salvador	835 000	136 600	21 000	81	60
Honduras	10 210 000	301 000	108 600	100	200
Nicaragua	3 240 000	145 817	44 680	20	150
Costa Rica	1 900 000	84 100	47 000	38	260
Panamá	260 870	19 400	7 300	5	25
República Dominicana	528 000	101 128	18 300	101	50
Total	22 452 130	1 092 545	371 880	510	895

Fuente: Elaborado con datos de los institutos de café y de la cadena de café de los países

A nivel del PROMECAFE, se trabaja en la integración de buenas prácticas de extensión (ver definición en el Recuadro 1), las cuales se basan en la coordinación, intercambio de experiencias regionales sobre resultados obtenidos en ensayos con diferentes programas de investigación ejecutados por World Coffee Research (WCR), la Universidad de Texas A&M, el Colegio de la Frontera Sur-ECOSUR de México, CATIE y CIRAD, principalmente. Como resultado de estos esfuerzos, en el 2013 el IICA y PROMECAFE publicaron un manual denominado “Buenas prácticas de extensión para capacitar, organizar y transferir tecnologías a los productores de café” (Calivá 2013), que surgió en momentos en los que la caficultura de Centroamérica y el Caribe enfrentaba otra crisis de precios bajos, afectación por roya y otras enfermedades y plagas como el ojo de gallo y la broca.

Recuadro 1. Definición de buenas prácticas de extensión

Fuente: Calivá (2013)

Buenas prácticas de extensión

Las buenas prácticas de extensión (BPE) comprenden una serie de actividades, técnicas y actividades de extensión aplicadas a los procesos de transferencia de innovaciones tecnológicas, capacitación y fortalecimiento de las redes y consorcios de trabajo entre productores, extensionistas y organizaciones públicas y privadas, con el fin de promover el desarrollo sostenible.

Los principios que rigen las BPE son los siguientes:

- Dar participación a los productores para determinar problemas y necesidades, establecer objetivos y metas y evaluar resultados
- Fortalecer los procesos organizacionales
- Valorizar el conocimiento local y el autoaprendizaje para la solución de los problemas
- Promover una agricultura amigable con el medio ambiente
- Formar equipos de trabajo
- Estimular el emprendimiento entre los productores
- Promover la formación de cadenas de valor entre los productores

Las BPE constituyen un núcleo de extensión moderna al integrar, bajo un solo concepto, el cumplimiento de las exigencias relativas a prácticas agronómicas, mercado, capacitación, organización y cuidado del medio ambiente.

El Foro Global de los Servicios de Asesoría Rural (GFRAS, por sus siglas en inglés), cuya misión es proporcionar apoyo y liderazgo a los servicios de asesoría rural pluralistas basados en la demanda, para el desarrollo sostenible a escala global, considera que los roles, estrategias y capacidades para fortalecer los servicios de asesoría deberían pasar por el siguiente proceso (Sulaiman y Davis 2012):

- 1) Definir el papel de los servicios de extensión y asesoría (SEA) en los sistemas de innovación agrícola, donde:**
 - a. Se definen las nuevas demandas
 - b. Se diseñan los sistemas de innovación agrícola (SIA) con funciones definidas, estrategias y capacidades
- 2) Establecer niveles de desarrollo de los SEA, donde:**
 - a. Se establece el nivel individual
 - b. Se establece el nivel organizacional
 - c. Se crea un entorno normativo propicio
- 3) Apoyo al desarrollo de capacidades**
 - a. A nivel individual
 - b. A nivel organizacional
 - c. A nivel del entorno normativo propicio
- 4) Se determinan las necesidades de acciones y se definen actores, donde:**
 - a. A nivel nacional**
 - Se realizan diagnósticos y reformas producto de los hallazgos
 - Se establecen las asociaciones y redes
 - Se definen los mecanismos técnicos y de apoyo
 - Se establece un sistema de monitoreo y aprendizaje
 - Se determinan contenido de capacitación y educación
 - Se identifican las fuentes de financiamiento
 - b. Nivel regional** (las mismas, pero con dicha cobertura)
 - c. Nivel global** (las mismas, pero con un alcance más global)

En la Figura 1 se presenta un esquema desarrollado por GFRAS el cual propone como abordar un sistema de innovación agrícola.

A nivel de América Latina, el referente en sistemas de asesoría es la Red Latinoamericana de Extensión Rural (RELASER), quien delimita quiénes son los actores claves en un sistema de innovación agropecuaria; luego

Un Sistema de Innovación Agrícola

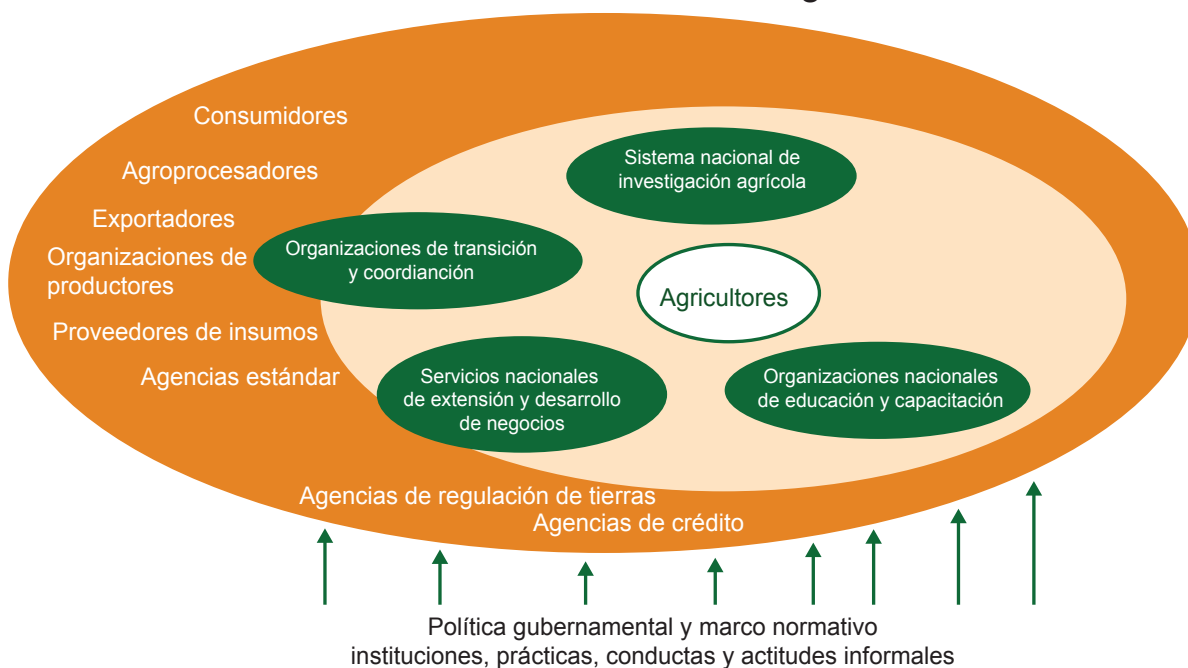


Figura 1. Sistema de innovación agrícola
Fuente: Sulaiman y Davis (2012).

de mapearlos, define las funciones para un sistema de extensión agrícola efectivo y comprensivo.

Los pilares que enfocan para facilitar el nuevo impulso de la extensión rural en América Latina son:

- Evidencia
- Incidencia
- Desarrollo de capacidades

Lo anterior se sustenta en que se parte de la transferencia de la tecnología hacia los sistemas de innovación agropecuarios. Estas transferencias consideran tres elementos claves:

- 1) **Conocimiento:** Facilitando a los productores y sus organizaciones y otros actores, el acceso de información y tecnología
- 2) **Redes:** Facilitando la interacción entre contrapartes como: investigación, educación y otros actores del sistema de innovación
- 3) **Desarrollo de capacidades:** Apoyar a que los actores desarrollen sus propias capacidades y habilidades técnicas, organizacionales y de gestión

Las figuras 2 y 3 presentan el esquema de los sistemas de innovación y las funciones, respectivamente, desarrollado por RELASER.

Países de estudio con intervención local

A continuación se abordan cada uno de los países meta del presente diagnóstico; en todos se hace hincapié al sector cafetalero bajo esquemas de extensión y asistencia técnica puestos en práctica por las instituciones cafetaleras privadas y públicas por parte de los gobiernos a través de los ministerios de agricultura.

Guatemala

Los servicios de asesoría son cubiertos a través de la Asociación Nacional del Café (ANACAFE), institución que por ley tiene a su cargo la capacitación y transferencia de tecnología hacia los productores de café. Actualmente existen 125 000 productores de café y la institución cuenta con 165 técnicos, distribuidos en 7 oficinas regionales y 2 subregionales. La capacitación está a cargo de técnicos especializados en sistemas de información geográfica (SIG), fortalecimiento organizacional, post-cosecha, sistemas de monitoreo de plagas, enfermedades y nutrición. También se distribuye

Actores claves en sistemas innovación agropecuaria

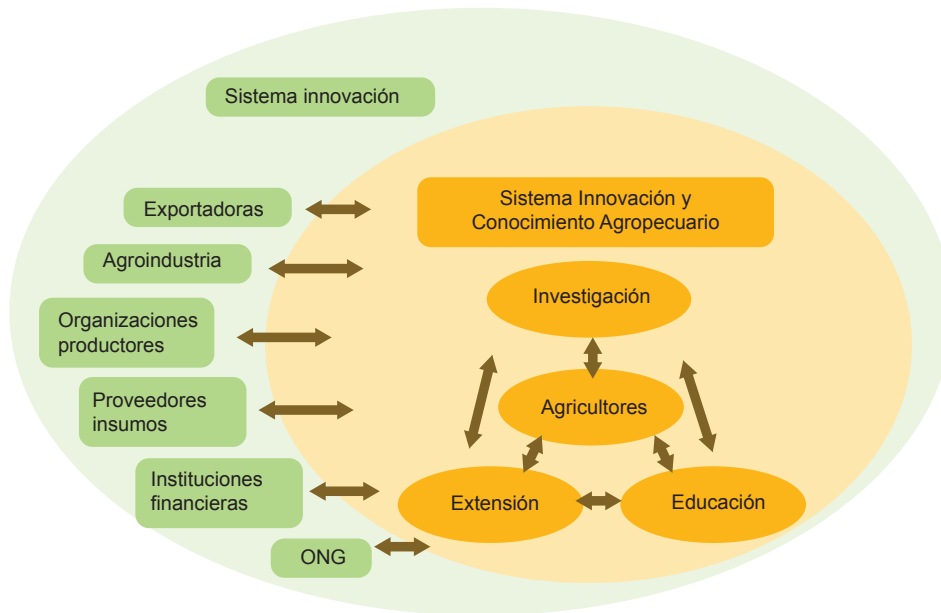


Figura 2. Actores claves en sistemas de innovación agropecuaria
Fuente: Catullo (2014)



Figura 3. Funciones para un sistema de asesoría agrícola efectiva y comprensiva
Fuente: Catullo (2014)

entre investigadores y técnicos ubicados en oficinas regionales, especializados en la fenología del cultivo. ANACAFE no cuenta con los recursos humanos necesarios para atender de manera más directa el conjunto

de productores del país; de hecho, su cobertura con los recursos propios no es suficiente para atender a todos los productores. Por ello, esta institución ha buscado diferentes estrategias de sinergias, entre ellas acciones

colaborativas con otros actores, con lo cual ha logrado una cobertura más manejable de productores por parte del técnico.

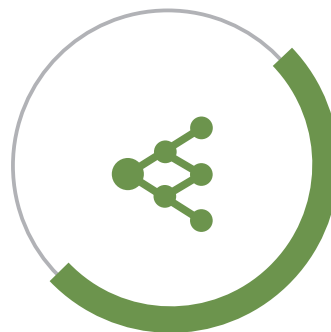
Además del trabajo que realiza ANACAFE, se unen esfuerzos a nivel de proyectos/programas de desarrollo, que tienen niveles de intervención técnica en las áreas que han sido seleccionadas. Por otro lado, existen ONG que brindan asistencia técnica por medio de fondos que se obtienen de la cooperación internacional.

El Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación (MAGA), también ha trabajado, especialmente, cuando se dan emergencias como es el caso de la aparición de la roya en el año 2012, cuando se sumaron más de 1200 técnicos en el trabajo de manejo integrado de la enfermedad, con el propósito de recuperar la capacidad productiva de algunas regiones, principalmente con pequeños productores de café. Estos técnicos se contratan de manera eventual. De manera general, el MAGA utiliza los Centros de Aprendizaje para el Desarrollo Rural (CADER), para atender al conjunto de productores de diferentes rubros, en el marco de acciones con el IICA como base de acción para fortalecer capacidades locales, rescate de conocimientos culturales, experimentación local, enfoque de familia, aprender con énfasis en prácticas y enfoque de género, entre otros.

Por otra parte, el IICA, a través de varios proyectos, ha desarrollado mecanismos para transferir tecnologías, como es el caso del Programa Regional de Investigación e Innovación por Cadenas de Valor Agrícola (PRIICA), con la metodología de consorcios denominada *Consortios Locales de Investigación e Innovación Tecnológica Agrícola (CLIITA)*, cuyos objetivos son la generación y validación de nuevas tecnologías y la aplicación de buenas prácticas agrícolas. Estos mecanismos de trabajo son formalizados como alianzas público-privadas para mejorar la seguridad alimentaria y nutricional de 31 comunidades de Centroamérica y Panamá, incluyendo Guatemala.

A través del PRIICA, se desarrolló una caja de herramientas metodológicas (PRIICA/PIAF), cuyo objetivo es brindar a los técnicos y productores líderes, un instrumento útil que fortalezca sus competencias y habilidades para generar y potenciar procesos de desarrollo de nuevos conocimientos en conjunto con los productores y productoras de agricultura familiar, en el marco de los procesos de investigación y validación tecnológica.

En la Figura 4 se presenta el contenido de esta caja metodológica en aspectos de extensión agrícola.



HERRAMIENTAS DE Extensión

Propósito

Compartir entre los distintos actores los saberes y conocimientos que permitan enriquecer las prácticas cotidianas del campo, aprendiendo de manera democrática en ambientes propicios para el desarrollo de capacidades y sinergias.

Contenidos

1. Campesino a campesino
2. Escuela de campo
3. Curso
4. Taller de buenas prácticas agrícolas
5. Gira técnica
6. Taller de capacitación
7. Día de campo
8. CADER
9. ¿Cómo poner en marcha una comunidad de práctica virtual?
10. Las TIC en la agricultura

Figura 4. Caja de herramienta metodológicas PRIICA/PIAF
Fuente: repositorio.iica.int/bitstream/11324/3147/1/BVE17079153e.pdf

En Guatemala, el CATIE promueve Escuelas de Campo (ECAS), bajo el enfoque de “aprender-haciendo” que fueron puestas en práctica a través del Programa Agroambiental Mesoamericano (MAP). La apuesta de las ECAS es la gestión del conocimiento y la creación de capacidades locales para el desarrollo rural sostenible. Esto conlleva fortalecer capacidades de las familias rurales para facilitar el impacto positivo entre la investigación agrícola para el desarrollo y la innovación para promover el desarrollo sostenible.

Caracterización de los eventos de capacitación y asistencia técnica

Diferentes proyectos transfieren conocimientos y promueven la metodología “*Campesino a Campesino*”, además de utilizar parcelas demostrativas, capacitaciones

grupales y giras de intercambio de experiencias entre productores. La relación teórica-práctica es de 30/70, respectivamente; la duración de los eventos que se organizan es variada y dependen de cada regional, pero no exceden de dos días.

El enfoque de género y juventud, en el marco de la extensión agrícola se da, principalmente, por la influencia de muchos proyectos y programas, vía cambios en la ejecución de acciones desde la perspectiva productiva, organizacional y comercial.

El mecanismo de verificación de la demanda de temas de capacitación por parte de los productores, se hace a través de un diagnóstico participativo en coordinación con las municipalidades y territorios. Este mecanismo también se ha definido y priorizado como centro de atención hacia las familias productoras de café.

No se tienen instrumentos de evaluación y monitoreo de los impactos de aprendizaje que se basan únicamente en la consulta con las familias de los productores. El gran reto para muchos proyectos es demostrar con los años, cuáles fueron los resultados de su intervención, tomando en cuenta que no se parte de una línea base que permita medirlos y considerando que muchas veces en un mismo territorio, se tiene más de un proyecto con diferentes niveles de intervención.

Recursos necesarios

En Guatemala es común utilizar centros de capacitación y otorgar más de algún material impreso para proporcionar a las personas que se capacitan. Además, en comunidades muy pobres se les tiene que apoyar con la movilidad hacia el lugar de la capacitación, ya sea facilitando el transporte o pagando el mismo como un viático. La alimentación durante el día del evento es parte de los recursos necesarios con que debe contarse.

Por lo general, las capacitaciones las imparte un técnico quien elabora su propio material didáctico y se desplaza en vehículo propio hacia las comunidades donde se realizan.

Coordinación

Las actividades de capacitación se coordinan con instituciones locales, con empresas privadas u ONG y con otras instituciones gubernamentales, no tanto porque existan convenios sino más bien por el relacionamiento personal entre técnicos de un mismo territorio.

Extensionistas y técnicos

El nivel de los técnicos es variado según las regiones donde se trabaje, pero existen muchas brechas en cuanto al abordaje de contenido técnico. El gobierno, a través del MAGA, cuenta con aproximadamente 1200 extensionistas en el Sistema Nacional de Extensión Rural (SNER) y con el Sistema Gubernamental de Extensión Rural (SGER), para fortalecer esas capacidades. Estas instancias se ven fortalecidas con la participación de la Universidad de San Carlos de Guatemala (USAC) y el trabajo promovido por el CATIE y la FAO. Este último, ofreció en 2017 un diplomado en extensión gubernamental, mediante nueve módulos sobre la temática de asesoría a diferentes rubros agrícolas. Al año 2017, el MAGA, a través de sus oficinas regionales, contaba con 44 personas trabajando en actividades de capacitación. Su estructura futura se enfoca en cubrir cada municipio con extensionistas agrícolas, pecuarios y una educadora del hogar.

En la Figura 5 se muestra cómo el SNER articula con los actores que realizan actividades de extensión en el país.

La participación de las mujeres como promotoras de asistencia técnica y capacitación ha sido muy reducida, pues no supera el 5% a nivel nacional. En este sentido, son necesarias acciones directas que permitan promover la participación de mujeres técnicas en las estructuras de servicios de asistencia técnica y fortalecimiento de capacidades.

El uso de material de apoyo es muy escaso. A través del PMA se elaboraron algunos materiales didácticos, manuales y videos. El material generado por ANACAFE ha sido apoyado por proyectos y agencias de cooperación y está disponible de manera impresa y digital.

Contenidos de capacitación

El tema de prevención y control de plagas y enfermedades ha sido uno de los más demandados producto de la crisis provocada por la roya del café. Actualmente, el contenido se enfoca en el manejo del café, la crisis climática en café, agroecología, reducción de pérdidas de cosecha y manejo de post-cosecha y promoción de material genético promisorio.

Desafíos del sector café

- Los problemas que se visibilizan en la transferencia de tecnología en Guatemala son producto de la falta de seguimiento, la no evaluación de los resultados

SNER: Sistema nacional de extensión rural
Conjunto articulado de actores que hacemos extensión

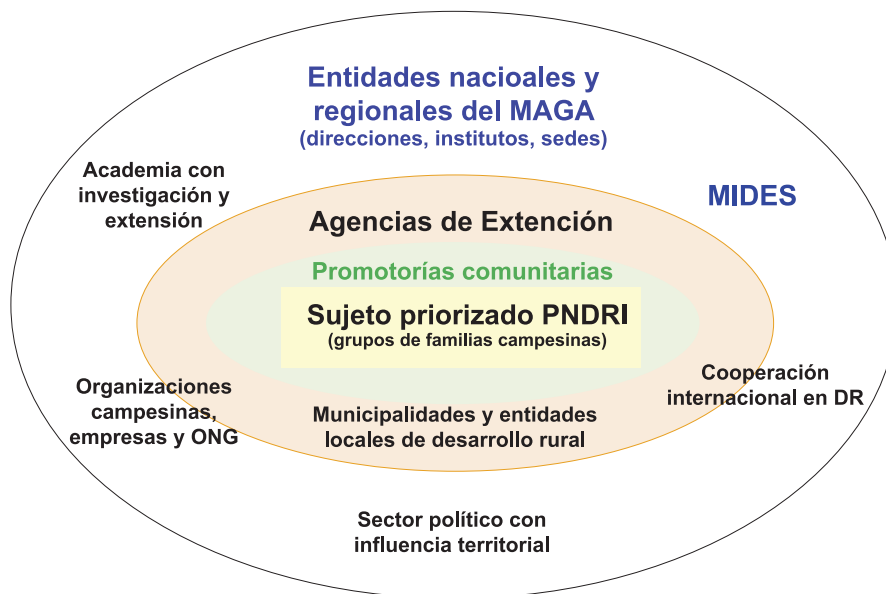


Figura 5. Articulación de actores que proveen actividades de extensión rural en Guatemala
 Fuente: MAGA (2011)

y falta de análisis del contenido de tecnología que se transfiere. Esto hace necesario que se busquen recursos para realizar *estudios sobre aceptabilidad y adopción tecnológica* por parte de los productores.

- Otro desafío es que los técnicos puedan ofrecer servicios de asesoría puntual al productor. Este tema se hace evidente con los técnicos que trabajan en el sector público, donde por lo general se hacen contrataciones temporales (3-4 meses), no se les apoya con la movilidad, ni se les brinda insumos para realizar la capacitación de manera más eficiente, aunando a que muchas veces el pago de los honorarios se hace a destiempo.
- La alta rotación de técnicos que ha tenido ANACAFE en los últimos años ha sido un gran reto para que el conocimiento y las experiencias adquiridas durante muchos años, no se llegue a perder.

Desafíos del país

El estudio más reciente realizado en Guatemala referente a la asesoría técnica y extensión fue realizado por la FAO en septiembre de 2014 (“Aprendizajes de las Transformaciones de los Sistemas de Extensión y Transferencia Tecnológica (SETTA): Una Propuesta

de Lineamientos de Política para el Futuro”). En el Recuadro 2 se presentan siete puntos críticos a ser considerados para el fortalecimiento de los procesos de capacitación y extensión en Guatemala. Por tanto, los retos para la asesoría en el sector cafetalero se pueden agrupar en 1) ¿Cómo mejorar las estrategias, modelos y servicios de extensión para las nuevas realidades del sector? 2) ¿Cómo mejorar la calidad de los técnicos, mantener rotación baja e incluir más contenido agroecológico en las asesorías? 3) ¿Cómo definir pagos por servicios ambientales? y 4) ¿Cómo vincular los sistemas de asesoría con los centros de investigación?

El Salvador

A diferencia de otros países de la región, El Salvador no cuenta con un instituto de café. A través de los años, el trabajo de investigación y asesoría estuvo a cargo de la Fundación Salvadoreña para la Investigación de Café (PROCAFE), institución creada como parte de una donación de USAID. Desde 1990 generó una serie de materiales; sin embargo, en los últimos cinco años, esta institución de carácter privado ha venido disminuyendo su accionar debido a que los recursos que recibía de parte del gobierno fueron orientados hacia un nuevo modelo de asesoría bajo la división CENTA-CAFE,

Recuadro 2. Puntos críticos para el fortalecimiento de los procesos de asistencia técnica y extensión del sector cafetero de Guatemala

Fuente: FAO (2014)

- 1. Estrategia para promover la pequeña y mediana agricultura familiar**
 - a. Fomentar ambiente para generar inversión y crecimiento con base amplia
 - b. Desarrollar y modernizar mercados nacionales
 - c. Fortalecer las capacidades de la pequeña y mediana agricultura
- 2. Modelo de extensión rural integral (incluye financiamiento)**
- 3. Servicio extensión como un servicio público por excelencia (no pretende recuperar costos)**
- 4. El éxito de los programas de extensión y asistencia técnica dependen de la calidad del recurso humano**
- 5. Uso de la agroecología como alternativa para productores de subsistencia**
- 6. Estrategia de pago de servicios ecosistémicos**
- 7. Articulación del sistema de innovación agrícola entre centros de investigación público-privados, productores y academia**

la cual fue creada por el Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG) con el objetivo es investigar, innovar y transferir tecnología para el desarrollo de la caficultura.

El mandato de trabajo del CENTA-CAFE se centra en:

1. Asistencia técnica con metodologías personalizadas de escuelas de campo
2. Aplicación de métodos de control de roya para que los caficultores manejen:
 - a. Aspectos biológicos y bio-ecológicos de la roya
 - b. Niveles de infestación o monitoreo en sus fincas
3. Donación de paquetes de agroquímicos, que incluye fungicidas y abono foliar para el control de roya, a productores de hasta tres manzanas.

Evaluación de los servicios de extensión

El país no cuenta con servicios formales de asesoría consolidados. Hasta la fecha del estudio (2017) había eventos puntuales realizados con apoyo del grupo de

técnicos de CENTA-CAFE contratados temporalmente para dar seguimiento a algunas acciones. El último estudio de evaluación de los sistemas de asesoría fue realizado por FAO en el 2014, que más adelante se describe dentro de los desafíos del país.

En cuanto a la formación técnica, sólo existe la Escuela Nacional de Agricultura (ENA), la cual otorga diplomas o títulos solo a nivel técnico y dentro del contenido curricular únicamente cuenta con una materia enfocada en el cultivo del café.

Durante la consultoría se mencionó que existe un manual de extensión elaborado por PROCAFE, el cual fue de una edición muy limitada.

Cobertura de atención

CENTA-CAFE, que operó hasta finales de 2019, contaba con 81 técnicos (de los cuales ocho son mujeres) y su cobertura de atención era de 35 visitas por mes, para tratar de cubrir un número estimado entre 19 000 y 21 000 productores. Esto representa un índice de cobertura que no supera el 13%. El apoyo se brindó en la infraestructura del CENTA en 23 oficinas regionales. También se dio prioridad a impulsar la conformación de la Asociación Agropecuaria de Productores de Semilla Certificada de Café y Otras Especies, de Responsabilidad Limitada (APROCERCAFE de R.L).

La Asociación Salvadoreña de Beneficiadores y Exportadores de Café (ABECAFE), acopia y exporta aproximadamente el 70% del café que se produce en el país. Atiende a aproximadamente 16 000 productores; cuenta con departamentos técnicos para atender a sus clientes en el manejo de buenas prácticas agrícolas en café.

No se tienen estadísticas exactas sobre el número de personal técnico privado en el país. La empresa exportadora Unión Nacional de Exportadores (UNEX) cuenta con 12 técnicos y la Comercial Exportadora S.A. (COEX) con 10. La asistencia técnica brindada se cobra dentro del precio negociado del café.

El enfoque de extensión de ABECAFE, se basa en visitas a fincas y actividades grupales para transferencia de tecnología; además, se llevan registros sobre la fenología del cultivo para compartir los conocimientos en actividades de capacitación; el tema del cambio climático no se considera dentro del contenido de los eventos de capacitación.

Para el 2017 la ABECAFE tenía una alianza estratégica con el WCR, a través de la concesión de una finca experimental para la validación de variedades promisorias ante la roya del café. Como parte de esta alianza están investigando 100 variedades de café para Mesoamérica que se encuentran en proceso de mejoramiento genético. Además, contaban con 40 parcelas demostrativas con tres variedades de café y tres sistemas de manejo de nutrición distintas.

Caracterización de los eventos de capacitación y asistencia técnica

El CENTA-CAFE realiza la asistencia técnica de manera individual y grupal, enfatizando el trabajo de ECAS y días de campo. Las actividades se enmarcan en investigación y en incentivar a los productores mediante la donación de plantas de café y entrega de fungicidas por parte del Gobierno.

Los resultados del seguimiento a la fenología del cultivo del café son una base orientadora de las actividades de capacitación. Debido a la necesidad que tiene El Salvador de renovar el cultivo de café con variedades resistentes, las capacitaciones se basan en el fortalecimiento de los productores respecto a técnicas para la reproducción de plantas sanas y genéticamente resistentes a la roya, que además les permita generar empleo rural.

La participación de las mujeres productoras en los eventos de capacitación se estima alrededor de 30% con tendencia a aumentar debido a la migración de los varones hacia los Estados Unidos.

El país no cuenta con mecanismos de evaluación sobre el impacto del aprendizaje de los productores y existe una marcada separación entre la gestión del gobierno y el sector privado cafetalero.

Recursos necesarios

A parte del trabajo que desarrolla el personal técnico del CENTA-CAFE, se brinda apoyo a través de documentos generados por proyectos liderados por organizaciones como Catholic Relief Services (material de suelos y cosecha de agua y formación de formadores, entre otros), CLUSA (estudios de fertilidad de suelos) y Technoserve (en implementación de técnicas de trabajo con pequeños productores).

Adicionalmente se generan boletines, posters y trifolios informativos sobre el cultivo de café, pero de manera esporádica y de alcance muy limitado.

Coordinación

La realización de eventos de capacitación se coordina con otras instituciones, especialmente del sector público con presencia local. La polarización política actual no permite establecer sinergias con el sector privado.

Extensionistas/técnicos

La conformación del equipo técnico dentro del CENTA-CAFE, se da dentro del marco de un préstamo financiado por el Banco Centroamericano de Integración Económica (BCIE), y no dentro del esquema del CENTA. Lo anterior hace pensar que el esquema no cuenta con una sostenibilidad financiera sólida que garantice la asistencia técnica a más largo plazo. De hecho, al final de 2019 se cerraron las actividades a la espera de que el país redefina la institucionalidad del café. La división de investigación del CENTA-CAFE se enfoca en:

- Protección vegetal (manejo integrado de la roya, epidemiología, período de incubación y latencia de la roya)
- Fertilidad de suelo y aplicación de enmiendas orgánicas e inorgánicas para mejorar su acidez
- Estudios de microelementos en el cafeto
- Manejo agronómico para el cafeto
- Adaptabilidad de la variedad Cuscatleca a diferentes distanciamientos de siembra
- Evaluación de otras variedades resistentes a la roya (Catimores y Sarchimores)

Contenidos de capacitación

Se enfatiza el control de plagas y enfermedades como la roya y la adopción de nuevas variedades a través de la promoción de producción de almácigos con las variedades que se donan a los productores.

Desafíos y limitaciones del sector café

- La caficultura salvadoreña es, sin duda, la que ha tenido más impacto negativo debido a una serie de situaciones coyunturales como la afectación del cambio climático, vulnerabilidad más alta a la roya producto de las variedades susceptibles (93% de todo el parque cafetalero) con que cuenta el país y la falta oportuna de políticas públicas que fortalezcan al sector cafetalero. A esto se suma que los niveles de productividad son los más bajos de la región (algunas zonas como Ahuachapán alcanzan producciones menores a cinco quintales pergamino por manzana) y el alto nivel de endeudamiento de los productores ante la banca local.

- La falta de una institucionalidad sólida en el sector y la fragmentación entre el sector público y privado, no permiten abordar los problemas anteriormente mencionados de manera integral.
- El Salvador presenta a nivel técnico el reto de la poca disponibilidad de agrónomos jóvenes con experiencia adecuada, debido a que no se ha gestionado el relevo generacional de una manera más estructurada.
- Para transferir tecnología para el manejo del cultivo de café, El Salvador deberá contar con recursos financieros suficientes e ir más allá de los esfuerzos que realizan aisladamente tanto el sector público como el privado.
- Para ABECAFE, las principales limitaciones son:
 - Pobre receptividad de parte de los productores de café Bourbon hacia variedades nuevas resistentes a roya
 - Poca renovación del parque cafetero hacia un negocio rentable
 - Poca formación de capacidades y conocimientos del personal técnico
 - Falta de sostenibilidad de la asistencia técnica privada demostrada a través de la rentabilidad de la finca

Desafíos país

Al igual que Guatemala, el estudio más reciente realizado en El Salvador en el tema de extensión y asistencia técnica, fue elaborado por la FAO en septiembre, 2014. En el Recuadro 3 se presentan los principales retos identificados. Específicamente se presentan seis puntos críticos a ser considerados para el fortalecimiento de la asistencia técnica y extensión en El Salvador. Por tanto, los retos para los procesos de capacitación y extensión del sector cafetalero se pueden agrupar en 1) ¿Cómo fortalecer la gestión del conocimiento de asesoría en el sector público? 2) ¿Cómo integrar los esquemas de extensión? y 3) ¿Cómo lograr sostenibilidad financiera de los programas de asesoría?

Honduras

Honduras es el mayor productor de café de Centroamérica con más de 9,9 millones de sacos de 46 kg, lo que lo posiciona como el tercer productor en Latinoamérica y el quinto a nivel mundial. Sus exportaciones de la cosecha 2016/2017 estuvieron por encima de 9,5 millones de sacos. Este país posee un parque cafetalero que supera las 426 000 manzanas (300 330 ha) con más de 120 000 productores registrados.

Recuadro 3. Puntos críticos para el fortalecimiento de los procesos de asistencia técnica y extensión del sector cafetero de El Salvador

Fuente: FAO (2014)

1. Fortalecimiento de los sistemas de innovación y gestión del conocimiento

- a. Sector público debe de tomar el liderazgo y conducción de los servicios de extensión
- b. Vincular a actores que participan en procesos de generación y transferencia de tecnología

2. Armonización por medio de la política pública integradora

Alinear el trabajo de las diferentes instituciones del estado vinculadas con el sector rural y otras organizaciones

3. Trabajo intersectorial

Definir un marco regulatorio institucional para vincular el trabajo territorial con el local y nacional, investigación con extensión y lo público con lo privado

4. Políticas públicas diferenciadas por segmentos de productores

Atención de productores de subsistencia y comerciales

5. Gestión de alianzas

- a. Entre instituciones y sectores
- b. Dimensión nacional y territorial
- c. Extensión, investigación e innovación
- d. Sistemas combinados público-privados
- e. Ejecutores, financiadores y cooperantes

6. Potenciar la creación de un mercado de proveedores de servicios de extensión y asistencia técnica

- a. Nombrado y conducido por un ente público
- b. Enfoque de complementariedad a lo realizado por el sector público

El cultivo de café juega un papel determinante en este país y los servicios de asistencia técnica tienen que responder a esa demanda y dinámica del sector. Las contribuciones a la economía alcanzan un 30% del PIB agrícola y un 4% del PIB nacional y US\$1.327.6 miles de millones de divisas. A nivel social se benefician 95 500 familias y se genera un millón de empleos directos; ambientalmente, se tiene un parque cafetero de 426 000 manzanas.

Como se muestra en la Figura 6, las acciones de capacitación y extensión en Honduras son cubiertas por el Instituto Hondureño del Café (IHCAFE), con una hoja de ruta enfocada en productividad y calidad como parte de cinco ejes estratégicos (productividad, calidad, promoción, diversificación y financiamiento).

Por otra parte, la Asociación de Exportadores de Café de Honduras (ADECAFEH), cuenta con equipos técnicos para asesorar a sus clientes. No se tienen datos específicos, pero se estima que el número de personal técnico de esta institución supera los 200 técnicos.

Evaluación de los servicios de extensión

No existen mecanismos de evaluación sobre el impacto que tienen los servicios de extensión. Desde el 2009 el IHCAFE adoptó los cinco ejes estratégicos indicados en la Figura 6 y se planea la formulación de una nueva estrategia que incluya evaluaciones sobre la eficacia de los servicios de extensión. El bajo volumen de producción por la roya ha generado nuevos retos para mantener la calidad y consistencia del café, especialmente en el procesamiento en los beneficios húmedos.

Cobertura de atención

La cobertura por técnico puede alcanzar hasta 100 fincas con planes de manejo. Se da apoyo y coordinan actividades con otras instituciones como Catholic Relief Services (CRS) y cooperativas dentro del radio de acción de las oficinas regionales. Además, se han establecido mesas de café territoriales que sirven de instancias para articular el trabajo entre actores y no duplicar esfuerzos.

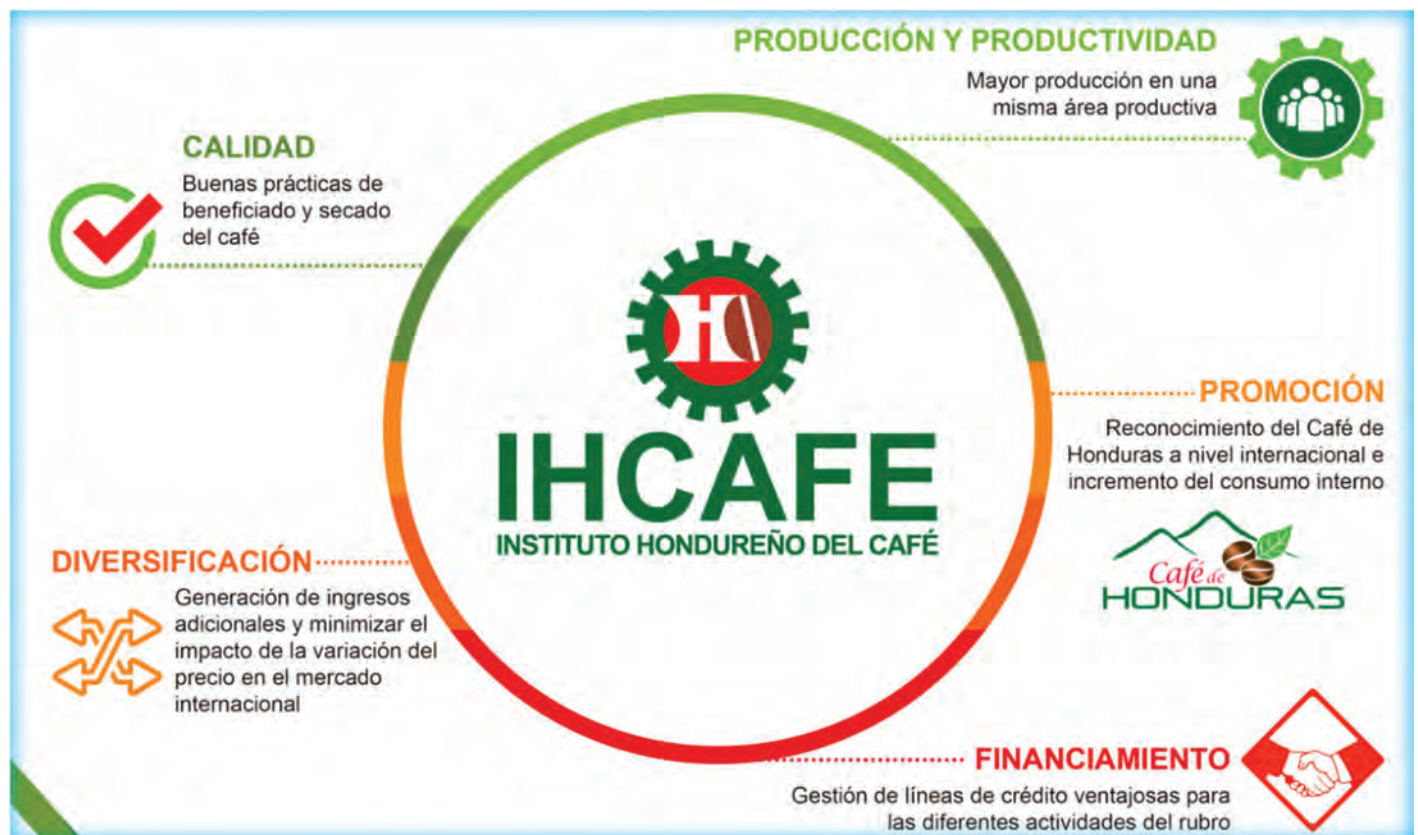


Figura 6. Ejes estratégicos para la capacitación y extensión del Instituto Hondureño del Café
Fuente: Guevara (s. f.)

Caracterización de los eventos de capacitación y asistencia técnica

Los eventos que organiza IHCAFE son variados y dependen de diferentes acciones como:

Días de campo: utilizan cuatro estaciones con diferentes temas, con énfasis en plagas, nutrición, manejo de tejido, beneficiado de café, secado, control de defectos y control de calidad. Además, se realizan talleres para que los productores conozcan su potencial de calidad. Otro enfoque dado es sobre la producción bajo armonía con el ambiente. Los horarios de organización de estos eventos son entre 9:00 am a 2:00 pm. A este tipo de actividad asisten entre 80 a 100 productores.

Días demostrativos: se realizan dos eventos, uno por la mañana con un grupo y otro por la tarde, con el propósito de tener mayor cobertura con los productores de la localidad.

Escuelas de administradores: las clases y prácticas se dividen en tres días con siete módulos cada mes; son desarrolladas en los centros de investigación del IHCAFE o bien en los municipios más cercanos a las zonas cafetaleras; se facilita la movilización de los productores. El proceso modular tiene un 80% de contenido práctico y 20% teórico.

Giras de campo: se realizan en centros de investigación y parcelas de diferentes comunidades.

Talleres de tecnología: son talleres prácticos que tienen una duración de dos días.

El IHCAFE, a través de la Escuela Superior del Café (ESCAFE), que data desde el 2003, ha graduado a jóvenes, hombres y mujeres, en administración de empresas cafetaleras y administración de fincas cafetaleras. En esta escuela se trabaja además en la formación de cataadores, mecánicos rurales, beneficiadores, promotores de calidad y de empresas cafetaleras y barismo. Además, imparte dos carreras técnicas universitarias: un técnico universitario en control de calidad y otro en empresas cafetaleras.

En el 2017, la Universidad Nacional Autónoma de Honduras estaba formando, en el IHCAFE, a un grupo de 200 estudiantes como técnicos universitarios.

Todas las capacitaciones tienen lugar según la fenología del cultivo; en tiempo de cosecha se dificulta la participación en las mismas. El periodo de mayor participación corresponde a los meses de abril-agosto de cada año.

Anualmente, los dirigentes gremiales se reúnen para fortalecer temas generales y algunas particularidades que se requieran abordar en la región y que se podrían incluir en el plan anual de capacitación. Un ejemplo es fortalecer capacidades en mecanismos de comercialización. Esta acción no se ha sistematizado.

Materiales educativos

El IHCAFE ha generado una serie de materiales como manuales y cartillas relacionados con el cultivo del café. Cuenta con el *Manual de metodologías participativas de capacitación para extensión cafetalera*, que se utiliza como herramienta de trabajo. Sin embargo, no se cuenta con kits estandarizados en todas las oficinas regionales. Es necesario fortalecer más el material de apoyo que se utiliza en los eventos de capacitación y un mayor equipamiento para el personal técnico que lo realiza. Se ha generado mucha documentación, pero se considera que se pueden integrar nuevos contenidos.

Coordinación

Existe una buena coordinación con otras instituciones de gobierno nacional y municipal para llevar a cabo las diferentes actividades que se organizan. También se coordina con las mesas de trabajo locales y con ONG, proyectos de desarrollo, cooperativas y exportadores.

Extensionistas/técnicos

El departamento de Extensión Cafetalera tiene como objetivo brindar asistencia técnica y transferencia de nuevas tecnologías desarrolladas por la institución a más de 100 mil productores de café. Un equipo técnico conformado por más de 50 técnicos y 100 asistentes en las ciencias agrícolas con amplia experiencia y capacidad, transfieren las tecnologías y conocimientos mediante visitas y diagnósticos de finca, giras técnicas, establecimiento y manejo de parcelas demostrativas,

IHCAFE cuenta con 11 oficinas regionales y 46 agencias de extensión estratégicamente localizadas en las áreas productoras de café. El trabajo dedicado de los técnicos ha permitido a Honduras mejorar la

producción y productividad del país hasta convertirlo en el primer país productor y exportador de la región y posicionarse como el principal rubro agrícola del país. La evaluación de las capacidades del personal técnico en Honduras indica la necesidad de fortalecer la parte de buenas prácticas agrícolas y el manejo de sistemas de información y computación, particularmente del personal técnico con muchos años en el gremio.

IHCAFE cuenta con mesas técnicas y un evento anual para dar a conocer los trabajos y resultados de investigación, con el fin de exponer en estas actividades casos prácticos de problemas en fincas y experiencias sobre el abordaje de las mismas. Su enfoque en los últimos años ha sido el beneficiado húmedo de café, manejo de plagas y nutrición de las plantaciones.

La participación de las mujeres en las actividades de asistencia impartidas a los productores es del 20% en promedio. El recurso humano técnico femenino es muy escaso; las razones principales indicadas es que esta actividad califica como un trabajo pesado por las condiciones de movilización en el área rural, exposición y riesgo de violencia en las zonas cafetaleras y su alta vulnerabilidad.

Contenidos de capacitación

Los contenidos se centran mucho en el tema de plagas y enfermedades. En el eje de productividad (Figura 6), los eventos de capacitación y extensión pueden alcanzar hasta un 60%, con un enfoque especial del manejo de la broca, roya, ojo de gallo y mancha de hierro, que son las enfermedades que más atacan el parque cafetalero hondureño. En algunos sectores donde la afectación de plagas no era importante, actualmente se presentan problemas con el minador.

En el 2017 se oficializó que la roya rompió la resistencia de la variedad Lempira (altamente promovida por el IHCAFE), por lo que a través del sistema de alerta temprana se realiza un monitoreo de la misma para contenidos sobre su manejo en las capacitaciones.

Desafíos sector café

- Tener mayor cobertura que asegure que la transferencia de tecnología se esté adoptando por parte de los productores.
- Llevar bases de datos sobre productores capacitados y darle seguimiento a la eficacia de dichas capacitaciones.

- Conocer bien las necesidades de cada sector y generar mayor anuencia para asistir a las diferentes actividades que desarrolla el IHCAFE.
- Mayor nivel de intervención en cuanto al procesamiento de café en el beneficiado húmedo.
- Enfocar los servicios de extensión hacia las fincas cafetaleras; hoy en día se ha recargado el trabajo de los técnicos del IHCAFE con otras agendas, como la venta de insumos y fertilizantes, que ahora forma parte de su trabajo dentro de las oficinas regionales.
- El relevo generacional técnico es importante. Muchos de los técnicos del IHCAFE tienen más de 20 años de trabajo en la institución y sobre ellos descansa actualmente el mecanismo de transferencia de tecnología.
- Evaluar los mecanismos de medición de la transferencia de tecnología, porque estos han ido evolucionando con el tiempo, pero aún no responden a los cambios actuales. Un ejemplo es que antes de la privatización del IHCAFE, el enfoque de trabajo técnico era por número de eventos, de charlas y de capacitaciones organizados durante el año cafetalero. Posteriormente, fue por actividades y el servicio de contratación era bajo el esquema de consultores. Esto no funcionó porque se medía el trabajo por producto; por ejemplo: número de secadoras elaboradas y no por talleres de capacitación en secado. Hoy se mide por las actividades enfocadas en los cinco ejes estratégicos (Figura 6).
- Armonizar el trabajo de extensión que se realiza en todo el país por parte de diferentes actores con una agenda conjunta. Un caso claro es el trabajo que desarrollan las organizaciones COMSA y RAOS, cuyo trabajo se enfoca en prácticas de biodinámica; otro es el caso que se da en Comayagua, región donde la producción de café es pro-orgánica, pero el IHCAFE enfoca los eventos de capacitación en técnicas de caficultura convencional.

Desafíos país

Al igual que en los otros países, el estudio más reciente sobre aspectos de capacitación y extensión realizado en Honduras, es el de la FAO (2014). En el Recuadro 4 se presentan ocho puntos críticos a ser considerados para fortalecer los procesos de capacitación y extensión en el país. Así, los retos para del sector cafetalero se pueden agrupar en: 1) ¿Cómo el IHCAFE se puede integrar y crear sinergias con SNITTA? 2) ¿Cómo integrar los esfuerzos de IHCAFE en los planes de inversión, modelo de asesoría y cambios de política habilitadora? y 3) ¿Cómo mejorar la alianza de IHCAFE con los apoyos públicos?

Recuadro 4. Puntos críticos para el fortalecimiento de los procesos de asistencia técnica y extensión del sector cafetero de Honduras.

Fuente: FAO (2014)

- 1. Establecer una política para el sistema nacional de innovación y tecnología agroalimentaria (SNITTA)**
 - a. SNITTA, posicionando en todos los sectores (público, privado empresarial, privado de cooperación, gremial, educación e investigación)
 - b. Reactivar el SNITTA
 - c. Revisar los programas y áreas para definir si cumplen con las metas
 - d. Evaluar el SNITTA, su estructura, funciones y presupuesto e identificar áreas de apoyo
 - e. Establecer mecanismo de monitoreo y evaluación del SNITTA
- 2. Promover un censo agrícola para redistribuir las necesidades de extensión**
- 3. Revisar el plan de inversión del país para el sector agroalimentario**
- 4. Establecer un enfoque de intervención integral y un modelo de extensión del agro**
- 5. Definir una política para los modelos de extensión**
- 6. Mejorar la definición de metas**
- 7. Enfatizar la sostenibilidad**
- 8. Alianzas con el sector privado**

Nicaragua

Se estima que Nicaragua cuenta con 45 000 productores de café (pequeños, medianos y grandes) en un área estimada de 200 000 manzanas (141 000 ha). Según el Centro de Trámites de las Exportaciones (CETREX), en la cosecha 2016-2017 se exportaron 2,99 millones de qq-oro que generaron USD486,44 millones; la producción del período superó los 3,2 millones de qq-oro.

Para el café Robusta, la producción fue de 40 000 qq-oro en un área de 1310 manzanas (923,5 ha) de un total en proceso de producción de 2956 manzanas (2084 ha). Según proyecciones del Grupo MERCON, para la cosecha 2026-2027, se espera producir 500 000 qq-oro en 10 000 manzanas.

Evaluación de los servicios de extensión

En Nicaragua no se cuenta con estudios de evaluación de los servicios de extensión enfocados en el cultivo del café. A partir de 1993, cambió el modelo agropecuario por parte del Gobierno, que se basa en un sistema de producción en consumo-comercio.

El Sistema Nicaragüense de Investigación e Innovación Agropecuaria (SNIA), se basa en un modelo de alianzas, consensos y diálogo en materia de investigación e innovación agropecuaria desde los territorios hasta el nivel nacional. En el 2015, el Gobierno le delegó la coordinación del SNIA al INTA con el fin de mejorar la productividad agropecuaria, la seguridad alimentaria y nutricional y el cuidado de la tierra. En la Figura 7 se presenta el esquema de actuación de sistema de asesoría agrícola del país. Este está organizado por niveles territoriales (nacional, regional, local), con diferentes instancias de coordinación que cooperan entre ellas.

El SNIA articula su trabajo con el sector privado, cooperativas y el estado. Este sistema está integrado por el Consejo Nacional de Investigación e Innovación Agropecuaria, los Consejos Regionales de Investigación e Innovación Agropecuaria (CRIA) y los Núcleos de Investigación e Innovación Territorial (NIT).

Los CRIA son una instancia de concertación, coordinación, planificación, implementación, seguimiento y evaluación de la actividad de investigación e innovación agropecuaria del país; los NIT son la unidad básica del SNIA que responde a las características particulares agroecológicas y productivas de los territorios, con base en los procesos de investigación e innovación agropecuaria.

Cobertura de atención

Nicaragua no cuenta con un instituto de café que integre el trabajo de todo el sector cafetalero. El trabajo de transferencia de tecnología se hace desde organizaciones cooperativas de primer y segundo grado como CECOCAFEN, PRODECOOP Y SOPPEXCCA, exportadoras de café que forman parte de *traders* internacionales como (ECOM y MERCON) y el Instituto Nicaragüense de Tecnología Agropecuaria (INTA) como modelo de gestión pública, creado en 1993. A estos actores se suman una serie de proyectos que se ejecutan con soporte de la cooperación internacional donde destacan CRS y Lutheran World Relief, entre otros.

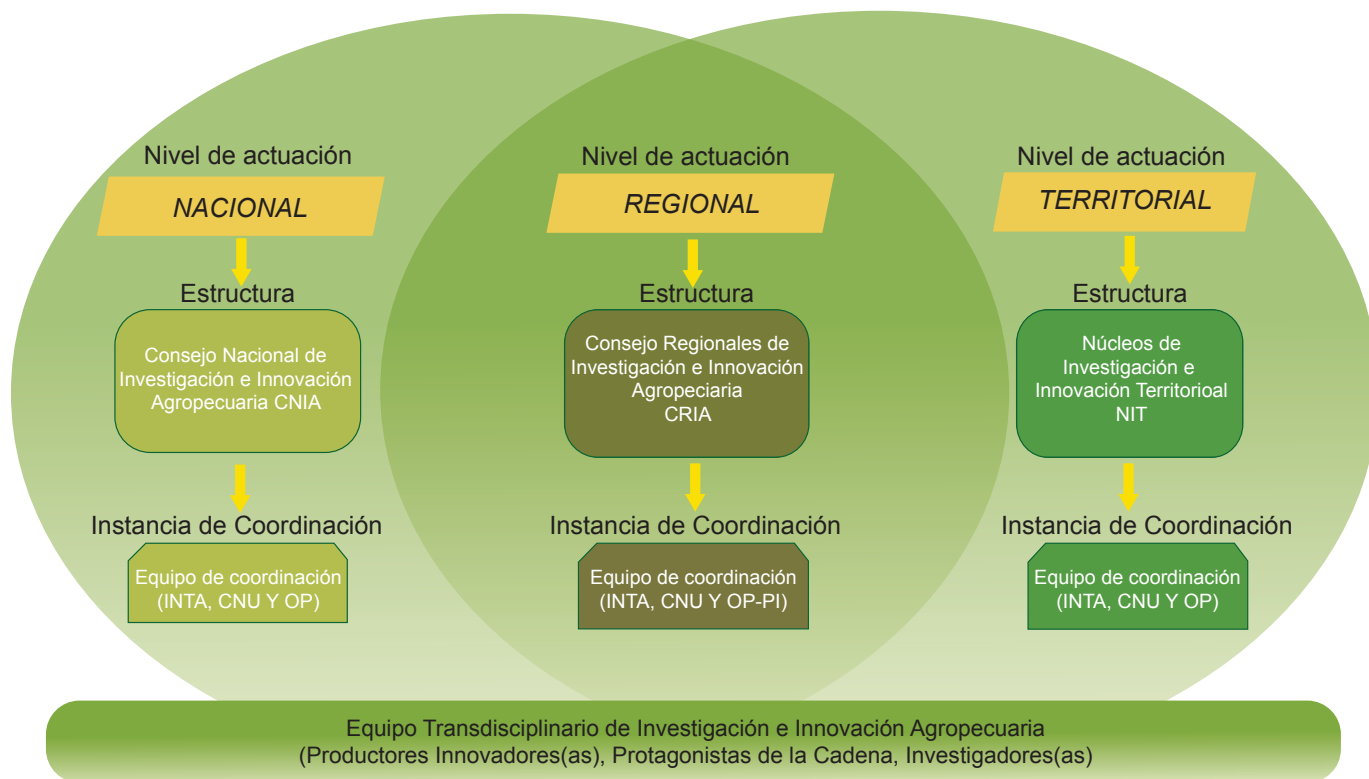


Figura 7. Estructura de actuación del sistema de asesoría a productores de café, Nicaragua
Fuente: INTA citado por Abril (2017)

El Sistema de Transferencia de Tecnología e Innovación incluye dos áreas de intervención: investigación y transferencia de tecnología.

El INTA tiene un modelo de gestión pública, donde la orientación del trabajo es articulada entre las instituciones del sector público-agropecuario; por ejemplo, la educación agropecuaria se imparte en el Instituto Tecnológico Agropecuario. Actualmente se trabaja en seis regiones.

Desde 2007, con el gobierno sandinista inició un proceso de cambio del INTA, pasando de un sistema de transferencia de tecnología tradicional, a uno protagónico con los pequeños productores. Anteriormente los sistemas eran verticales por temas. Bajo este nuevo orden, este modelo se enfoca en que el productor o familia productora no sea un beneficiario o depositario, sino, más bien, el protagonista del modelo. El centro del sistema es la persona que tiene conocimiento y experiencia, partiendo de que aplica prácticas y tecnologías bajo un enfoque relevante de saberes locales y ancestrales. Bajo este esquema los productores comparten dichos

conocimientos en los encuentros con más productores para hacer, motivar o difundir prácticas de tecnologías. Es común que cuando inicia un encuentro, en lugar de que un técnico sea el que dirija, este papel sea tomado por un productor que ya aplica las tecnologías y conocimientos en el tema de interés. Así se logra credibilidad ante los demás productores.

Nicaragua también cuenta con el Instituto Nacional Tecnológico (INATEC), quien es el rector de los resultados de transferencia de tecnología. Según este ente, una de las dificultades de su quehacer es mantener la presencia del productor o empleados durante las asesorías, debido a, por ejemplo, personas de campo matriculadas en las escuelas de campo que típicamente se ausentan durante la cosecha o personas que deben movilizarse distancias largas, lo cual les limita la participación. Las escuelas técnicas comienzan en febrero y terminan en octubre, lo cual significa un periodo largo que muchas personas no pueden dedicar.

En la Figura 8 se muestra la estrategia de modelo de innovación participativa del INTA.

Caracterización de los eventos de capacitación y asistencia técnica

Las escuelas de campo: es uno de los mecanismos más importantes de capacitación; la relación entre contenidos prácticos y teóricos es del 80% y 20%, respectivamente. En algunos grupos de productores que participan en eventos gestionados a través de cooperativas, la relación puede ser del 70% y 30%, respectivamente.

Talleres de capacitación: se organizan sobre la base de la fenología del cultivo; tardan de uno hasta tres días.

Cursos cortos: se imparten sobre contenidos específicos y son de una semana de duración.

Encuentros, ferias regionales y nacionales: se llevan a cabo todos los sábados y su enfoque es demostrativo y promocional de buenas prácticas agrícolas. Son coordinadas por el sistema de asesoría del INTA.

La demanda de contenidos requeridos por los productores de café se realiza al final de cada actividad.

Los organismos del sistema de transferencia que facilitan eventos de capacitación no cuentan con un sistema de evaluación del aprendizaje y aunque se utilizan instrumentos de evaluación primaria al final de los talleres, su enfoque es más para generar planes de acción posteriormente.

Contrariamente, cooperativas que cuentan con certificaciones como comercio justo u orgánico, entre otras, realizan una serie de capacitaciones con el fin de cum-

plir con las normativas específicas para el cumplimiento de las buenas prácticas agrícolas con las que diferenciarán el café al momento de comercializarlo.

Material didáctico

El material generado por el INTA en materia de café es muy limitado y es necesario complementarlo con más herramientas; además, debe de ser homogéneo para todas las regiones de café.

Coordinación

Para llevar a cabo las actividades de capacitación, el INTA coordina con instituciones de gobierno principalmente, o bien con cooperativas de productores. En el caso de las cooperativas, la coordinación se da más a nivel municipal y de proyectos implementados por ONG.

Extensionistas y técnicos

Por más de 10 años, Nicaragua estuvo fuera de la instancia regional de PROMECAFE, lo cual aisló la posibilidad de poder implementar y validar mecanismos de investigación y transferencia de tecnología, que otros países de la región sí tuvieron.

En la actualidad es necesario fortalecer el manejo de la roya de café a nivel técnico y de productores.

El personal técnico del INTA en café está en proceso de formación; la base más importante se encuentra en las cooperativas de café de segundo grado (Unión de Cooperativas Agropecuarias-UCA) y en las de primer grado, ubicadas principalmente en las zonas de Jinotega,

El proceso de innovación participativa en el INTA

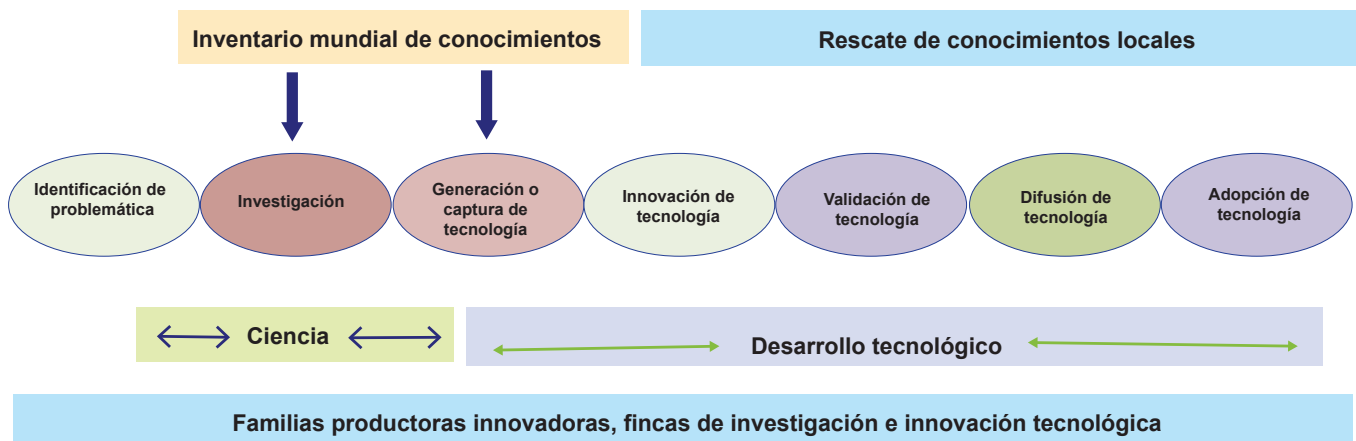


Figura 8. Proceso de innovación participativa desarrollado por el Instituto de Tecnología Agropecuaria, Nicaragua
Fuente: FAO, INTA citado por Abril (2017)

Matagalpa, Estelí y San Juan del Río Coco. El modelo de trabajo se da a través de una red de entre 10 a 15 técnicos que cuentan con productores-promotores que trabajan con el resto de la membresía de la organización. La sostenibilidad de este esquema es muy reducida porque, mayormente, ha logrado sostenerse con apoyo de proyectos de cooperación como CLUSA-USAID, o bien a través de CLAC-Comercio Justo.

A nivel de exportadores se cuenta con personal técnico que ofrece asesoría a la red de productores que les entrega el café; la mayoría de ellos cuenta con oficinas regionales para dicha atención. La modalidad de trabajo se conoce como paquete tecnológico ya que incluye proveer plantas y agro-insumos.

Contenidos de capacitación

INTA necesita fortalecer los contenidos de los eventos de capacitación en materia de café, pues por muchos años su orientación fue hacia granos básicos y hortalizas. Pero en el contexto actual, es necesario y urgente abordar temas como el manejo de la roya del café para los cultivos con variedades de café arábica y de la broca, para el caso de la variedad de café robusta.

Desafíos sector café

- Fortalecer los conocimientos en tecnología aplicada a la agroecología del cultivo del café ya que actualmente solo cuenta con información sobre caficultura convencional y orgánica.
- Se requiere formar mayor número de técnicos extensionistas jóvenes y trabajar con modelos de producción que aseguren niveles de productividad mayores a los actuales.
- Coordinar el trabajo entre el gobierno y sector privado para alcanzar objetivos comunes en materia de extensión agrícola.
- A diferencia de otros países, Nicaragua tiene un modelo de extensión regulado y articulado (Sistema Nacional de Consumo-Comercio); el gobierno lidera los procesos. En este sentido es necesario analizar que en el contexto territorial hay un importante abanico de actores que deben ser integrados para contribuir participativamente en la toma de decisiones.

Desafíos país

Al igual que en los demás países, el estudio más reciente sobre aspectos de capacitación y extensión es el realizado por la FAO (2014). En el Recuadro 5 se presentan cuatro puntos críticos a ser considerados para el fortalecimiento de los sistemas de asesoría en el país. Por lo tanto, los

retos para los procesos de capacitación y extensión en el sector cafetalero se pueden agrupar en 1) ¿Cómo orientar mejor la asesoría y políticas públicas en café para mejorar la adopción tecnología que eleve productividad y rentabilidad? 2) ¿Cómo lograr alianzas público-privada sólidas?

Recuadro 5. Puntos críticos para el fortalecimiento de los procesos de asistencia técnica y extensión del sector cafetero de Nicaragua.

Fuente: FAO (2014)

- 1. Extensión orientada a mejorar el nivel de vida, ingresos, productividad y adopción de tecnología**
- 2. Las políticas públicas deben priorizar la transferencia de tecnología a productores como bien público**
 - a. Uso de promotoría rural combinada con metodologías participativas como las escuelas de campo
 - b. Asistencia técnica orientada a la cadena de valor con enfoque de demanda
 - c. Privilegiar la participación y empoderamiento de jóvenes y mujeres
 - d. Promover nuevas alternativas como los servicios del bono productivo
 - e. Incentivar el uso de tecnologías de la información (TIC)
- 3. Promoción de alianzas público-privadas para productores organizados en cooperativas**
 - a. Servicios cofinanciados por el sector público-privado
 - b. Sector público como promotor de la calidad
 - c. Asistencia técnica a toda la cadena de valor con gestión y apropiación de conocimiento con enfoque de demanda
 - d. Incentivos a pequeños empresarios para la provisión de tecnologías alternativas amigables con el ambiente y la salud pública
 - e. Promover redes locales para articular servicios complementarios como el financiamiento, vigilancia fitosanitaria, el mercado y la comercialización, provisión de tecnología y la investigación
 - f. Diversificar modalidades cofinanciadas en zonas con alta potencialidad para la agricultura y ganadería
 - g. Incentivar en uso de TIC para producir bienes privados focalizados
- 4. Para grandes productores, las políticas deben proveer conocimiento como bien público para mejorar su competitividad y acceso a mercados**

República Dominicana

El Consejo Dominicano del Café (CODOCAFE), formado en el 2000, fue el responsable de prestar los servicios de asistencia técnica al sector cafetalero del país hasta el 2018 cuando es reestructurado, y pasó a ser el Instituto Dominicano del Café (INDOCAFE). Actualmente cuentan con 18 300 productores que tienen una edad promedio de 67 años. Se estima que esta cifra se reducirá a menos de 12 000 productores debido a la falta de inversión en los cafetales por la carencia de capacidades para la implementación de buenas prácticas agrícolas.

En República Dominicana la caficultura representaba un sector de mucha importancia económica en los 80s y 90s, pero su importancia empezó a decaer debido a la crisis económica causada por los bajos precios pagados al productor. Con el tiempo, los cafetales fueron envejeciendo y, dada la inversión limitada en los mismos y la falta de conocimiento del productor, la producción, productividad y exportaciones comenzaron a declinar con el tiempo. Aunado a lo anterior, la broca y la roya terminaron por diezmar y desmotivar a productores que abandonaron sus cafetales o los sustituyeron. Como resultado, la situación actual de la caficultura dominicana es muy precaria. El nivel actual de exportación es mínimo comparado con el histórico, y se requiere importar café de otros países para satisfacer el consumo interno de café tostado y molido.

Evaluación de los servicios de extensión

En este país CODOCAFE y la Cooperación Francesa realizaron una evaluación a finales del 2007, denominada “*Propuesta para la Modernización del Sistema de Extensión*”. En el 2011 el CODOCAFE elaboró otro estudio llamado “*Reformas del Sistema de Extensión CODOCAFE*”. En ambos documentos se hace una evaluación de la problemática y baja eficiencia del servicio de extensión ofrecido hacia los productores. La reorientación ha sido limitada por falta de recursos y hoy en día es aún más precaria.

Lo más destacable en estas evaluaciones fue:

- Metodología de trabajo poco adaptada a la realidad de los productores
- Poca dedicación de los extensionistas
- Debilidades en la capacitación de los técnicos
- Recursos escasos para orientar la transferencia de tecnología
- Necesidad de estrategias y planes de trabajo integrales

Cobertura de atención

El CODOCAFE al 2017, contaba con 101 técnicos dedicados a una serie de actividades no exclusivamente la capacitación; ocho técnicos se encontraban a tiempo completo en extensión agrícola. El promedio de edad del personal técnico supera los 54 años. No se contaba con una metodología de transferencia de tecnología bien estructurada. De los 101 técnicos, 38 están inmersos en el sistema de alerta temprana para la roya de café.

Los recursos con que contaba el CODOCAFE eran muy limitados y no se lograron alcanzar niveles de eficiencia y eficacia en la transferencia de tecnología hacia los productores. Muchas veces los técnicos se movilizaban en transporte público para llegar a las comunidades que están muy distantes de las zonas de trabajo asignadas. Dicho transporte muchas veces solo tiene un horario de salida para cubrir las rutas.

El departamento de capacitación y extensión se encontraba inmerso en asistencia técnica más de emergencia que propia de un plan de acción, debido a la afectación que tuvo la roya a nivel del país que lo dejó con niveles de incidencia y severidad arriba del 80%. El enfoque actual de CODOCAFE es la producción de plantas, renovación de cafetales y manejo de la roya.

En vista de la edad avanzada de los técnicos, entre el 2015-2018 se contrataron 10 jóvenes con el fin de formar parte de los programas de certificación de fincas de café Típica y Caturra; sin embargo, dado al impacto económico y moral de la roya en el productor, los planes de certificación no prosperaron. Como resultado, el grupo de técnicos contratado para los programas de certificación pasó a ser parte del cuerpo técnico para incrementar la cobertura del cultivo.

Caracterización de los eventos de capacitación y asistencia técnica

Los eventos se programan en función de la fenología del cultivo y en temas fortuitos y necesarios como el manejo de variedades resistentes a la roya. Se imparten charlas a los productores en las mismas fincas, así como demostraciones de métodos y resultados y los productores los van aplicando en sus fincas. No se utiliza el modelo de ECA.

Por la importancia que surge por la crisis de la roya de café, se han establecido 142 parcelas demostrativas para cubrir alrededor de 15 000 productores con un área de aproximadamente 16 250 hectáreas renovadas. Sin

embargo, estas fincas no son monitoreadas de manera constante, y para una gran porción no se llevan registros.

Durante la crisis de la roya, las jornadas de capacitación en estas fincas se hicieron con un día de duración y contaban con una asistencia aproximada de 40 personas; los seminarios con familias productoras se realizaban durante cinco días. El nivel de participación de mujeres en las capacitaciones alcanzó entre un 5% y 10% del total. Las fincas demostrativas se usaron también para entrenar a futuros técnicos (estudiantes de agronomía).

Los materiales más utilizados en los eventos son rotafolios y presentaciones audiovisuales con fotos que ejemplifican los temas tratados. Al finalizar las capacitaciones se realizan las evaluaciones de aprendizaje, pero más como un cumplimiento de una actividad que como insumo para tomar decisiones.

Recursos utilizados

Los eventos se desarrollan en centros de capacitación ofrecidos por autoridades locales y, por lo general, las capacitaciones las imparten dos técnicos, quienes llevan materiales impresos. A los participantes se les ofrece un refrigerio y almuerzo, y apoyo para su movilización a través de los medios de transporte disponibles en las localidades, pues de lo contrario, no se contaría con su participación.

Coordinación

Se coordina la capacitación con otras organizaciones, especialmente las dirigidas a los productores, quienes facilitan el trabajo del técnico.

Extensionistas y técnicos

Los servicios técnicos brindados por CODOCAFE cuentan con 101 personas (18 mujeres) con diferente nivel de especialización. Como se mencionó antes, muchos de ellos superan los 30 años de trabajo en el campo. Adicionalmente, varios exportadores cuentan con personal técnico que se estima en 50 personas aproximadamente.

La actualización del personal técnico se hace a través de una convención anual, donde se comparten nuevos conocimientos. También son apoyados por organizaciones como IICA, CATIE, PROMECAFE, OIRSA y PROCAGICA, que movilizan expertos en diferentes temáticas y apoyaban la actualización de contenidos.

Con la reestructuración de CODOCAFE a INDOCAFE, un grupo de cinco técnicos fueron becados mediante un acuerdo con el Ministerio de Educación Superior y Tecnologías. Estos estudiantes se enviaron a cursar maestrías en el CATIE con el fin de mejorar sus capacidades técnicas e investigativas. Sus temas de investigación se definieron en el marco de prioridades del proyecto INDOCAFE considerando las necesidades nacionales de investigación. Con sus conocimientos actualizados y con su experiencia en investigación, estos jóvenes quizás se conviertan en agentes de cambio dentro de la institución.

Contenidos de capacitación

El 95% de las actividades realizadas, se centran en el manejo de la broca y la roya del café, pero las acciones a nivel de productor no se evidenciaron en el campo. Un ejemplo es el tema de la aplicación de fungicidas, que, debido a las condiciones económicas limitantes de la mayoría de los productores y la condición de vejez de los cafetales, no alcanzan los resultados esperados.

El esquema de los procesos de capacitación y extensión del INDOCAFE se basa principalmente en visitas directas a fincas. Los técnicos se reúnen en cada una de las regionales de café todas las semanas para realizar su plan de trabajo semanal; luego retoman su plan de visitas. Durante las mismas, le consultan al productor sobre las actividades realizadas, evalúan la problemática y le dejan recomendaciones. Al final de la jornada realizan un informe donde indican las actividades realizadas por el productor y sus necesidades. El reporte se envía a la central de Santo Domingo donde lo archivan. En la siguiente visita se repite el proceso, pero no se lleva un control de cuales recomendaciones fueron adoptados y cuales no. Por lo tanto, la información recopilada no constituye una retroalimentación para la mejora continua.

Limitaciones sector café

- El INDOCAFE no cuenta con un proceso metodológico de recopilación de datos para mejorar la toma de decisiones.
- Factores críticos necesarios de abordar, porque no permiten que se tenga una caficultura moderna (las 4 R).
 1. Renovación de cafetales de más de 30 años
 2. Relevo generacional de técnicos que superan en promedio los 54 años
 3. Relevo generacional de productores que superan en promedio los 67 años

4. Renovación del equipo de trabajo y vehículos del personal técnico que supera la vida útil y que se encuentran en malas condiciones
- La crisis de la roya del año 2012 dejó visible la falta de intervención y recursos que necesita el sector productivo de café del país.
- Otro desafío para un modelo de extensión en República Dominicana es que muchos de los productores de café no viven en las fincas y mucha de la actividad de extensión se dan a través de visitas domiciliarias. Varios productores pasan de 70 años de edad y contratan a un capataz de nacionalidad haitiana quien es el que permanece en la finca; luego se hace necesario visitar al productor en su casa para que las actividades planificadas se lleven a cabo.

Desafíos país

Al igual que en los demás países, el estudio más reciente sobre aspectos de capacitación y extensión es el realizado por la FAO (2014). En el Recuadro 6 se presentan doce puntos críticos a ser considerados para el fortalecimiento de los procesos de capacitación y extensión en el país. Por lo tanto, los retos para los procesos de capacitación y extensión en el sector cafetalero se pueden agrupar en 1) ¿Cómo mejorar la asignación de responsabilidades, asignación de recursos y políticas?, 2) ¿Cómo mejorar continuamente los conocimientos del técnico y cómo evaluar la asesoría provista a los productores? y 3) ¿Cómo mejorar los métodos y técnicas de asesoría, incluyendo TIC?

Costa Rica

El país cuenta con el sector cafetalero más organizado de la región y fue, por muchos años, líder en investigación de café. Su base de trabajo está en atender a aproximadamente 47 000 productores de café, que tienen presencia en aproximadamente 84 100 hectáreas bajo cultivo. El Instituto del Café de Costa Rica (ICAFE), contaba para el cierre del presente estudio con solo 38 técnicos (la mitad involucrado en asistencia técnica directa y la otra en investigación); se estima que tanto las fincas como los productores exportadores cuentan con 260 técnicos, aproximadamente.

Este equipo técnico ha desarrollado más de 70 investigaciones, las cuales son validadas por un equipo técnico y, una vez aprobadas por la Junta Directiva del ICAFE, se dan a conocer y se transfieren los resultados al personal

de las seis oficinas regionales con las que cuenta, desde donde se llevan al productor.

Recuadro 6. Puntos críticos para el fortalecimiento de los procesos de asistencia técnica y extensión del sector cafetero de República Dominicana
Fuente: FAO (2014)

1. Que el Estado establezca responsabilidades específicas y regulaciones al sector ofertante de servicios de extensión
2. Limitar los servicios de extensión gubernamental a pequeños y medianos productores
3. Necesidad de asignar recursos financieros y voluntad política a los servicios de extensión, transferencia de tecnología y asistencia técnica
4. Mejorar los vínculos de colaboración entre instituciones públicas y los productores agropecuarios particulares
5. Es necesario elegir métodos y técnicas de extensión adecuadas de los agricultores al nivel educativo
6. Privilegiar actividades individuales y grupales, intercambio entre agricultores y centros de investigación
7. Uso de demostraciones de métodos y parcelas demostrativas
8. Estimular el uso de las TIC, tanto para información y formación técnica, así como para trabajar con productores
9. Renovación del personal técnico del MAG, que en su mayoría está cercano a la jubilación
10. Establecimiento de programas de capacitación para actualización profesional y de directivos
11. Mejoramiento de las condiciones salariales y de trabajo del personal de extensión
12. Seguimiento a proyectos piloto para el establecimiento de una nueva modalidad de trabajo

Evaluación de los servicios de extensión

Existen estudios de evaluación de los servicios de extensión; sin embargo, estos no son conocidos por el sector cafetalero en general. Uno de ellos fue elaborado por la FAO (2014), el cual encontró tres problemáticas: 1) Recursos limitados para los servicios de extensión y su sostenibilidad presupuestaria, 2) Impacto limitado de los programas de extensión, especialmente en los pequeños productores y 3) Futuros impactos al sector como resultado del cambio climático.

El otro estudio, titulado “Informe de Consulta de Propuesta Metodológica de Extensión en Costa Rica (FAO *et al.* 2014), aborda los siguientes temas principales: 1) No se articula el sistema de extensión con la investigación, 2) Integrar el tema de comercialización con los temas de investigación y no solo aspectos productivos agrícolas, 3) Ampliar temáticas como agricultura familiar y gestión de riesgos, 4) Contar con estrategias de relevo generacional.

A nivel técnico, el MAG realiza una evaluación de desempeño general una vez al año, pero se hace en función de los planes operativos y no con un enfoque en transferencia de conocimiento hacia los productores.

Hoy en día, las parcelas demostrativas deben ofrecer una comparación y alternativas a diferentes enfoques de producción de café como el convencional, sostenible y orgánico, para realizar una evaluación sobre los servicios de extensión vinculadas a cada modelo de producción.

Un aspecto importante es que se denota debilidad para dar seguimiento y evaluar los servicios de extensión y asistencia técnica del sector en general. No se han hecho estudios de impacto de los servicios; las evaluaciones técnicas de desempeño que se realizan anualmente son limitadas ya que se enfocan en la ejecución del número de actividades, pero no evalúan impactos o resultados efectivos. Hay que trabajar también en estrategias de comunicación y evaluación de impactos y no solamente en los procesos internos de cumplimiento de los planes operativos.

En general, los servicios de extensión deben mejorar las estrategias de fortalecimiento de capacidades y comunicación para que tengan un mayor impacto en la atención de las necesidades de las familias productoras, que son sus principales clientes.

Cobertura de atención

Con el número de técnicos con que se cuenta, la intervención en el campo es bastante limitada si se considera la atención al conjunto de productores. Por esta razón es necesario vincular a los técnicos del Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG), lo que implica una mayor coordinación institucional. También es necesario consolidar alianzas con la red de técnicos de las cooperativas, asociaciones, empresas y proyectos que operan en el sector. Hoy en día el ICAFE busca utilizar tecnologías de información para difundir y ampliar el alcance

de la transferencia e información de apoyo para la toma de decisiones.

Caracterización de los eventos de capacitación y asistencia técnica

Estos eventos dependen de cada institución que desarrolla actividades. Por ejemplo, el MAG se enfoca en días de campo, charlas, uso de fincas modelo y giras a otras regiones. Sin embargo, los técnicos de dicha institución no trabajan exclusivamente en café, lo cual limita y distrae la atención focalizada. Se organizan días de campo y charlas informativas dirigidas a grupos de productores, pero no se hace de manera integral. El ICAFE cuenta con fincas demostrativas, realiza días de campo e imparte charlas organizadas por el personal técnico de sus oficinas regionales y de la sede central ubicada en Heredia; también hace un importante uso de las redes sociales para compartir información. Es importante revisar los enfoques integrales de aprendizaje que están siendo articulados, pues en determinadas situaciones se pone énfasis en informar sobre prácticas a ser realizadas por los productores sin un enfoque más integral que incluya un análisis vivencial de los principios agroecológicos relacionados.

Material didáctico

El ICAFE cuenta con material de apoyo desarrollado por sus técnicos, pero no está homologado por otros técnicos del sector, como cooperativas, asociaciones y empresas. .

Coordinación

En Costa Rica existen muchos servicios de extensión privados y de asistencia técnica. En el caso del ICAFE, los técnicos buscan coordinar con organizaciones locales cuando se hace necesario atender grupos organizados. Ha sido difícil la coordinación a nivel de formatos, contenidos y metodologías a emplear.

En la mayoría de los casos, al no existir una buena coordinación inter-institucional, los proyectos y organizaciones no presentan estrategias integrales de transferencia y extensión de tecnología.

Extensionistas y técnicos

En el país existe buena base de conocimientos técnicos, pero hay nuevos retos que pueden contribuir al valor agregado. Por ejemplo, actualizar estrategias de comunicación hacia el productor para alcanzar resultados más eficientes. También se hace necesario fortalecer la capacidad de los técnicos y productores en la elaboración

de insumos orgánicos, pues se tienen conocimientos limitados; el enfoque de los eventos de capacitación ha sido más hacia la caficultura convencional.

A nivel técnico es necesario trabajar en aspectos pedagógicos, ya que su formación universitaria en ese aspecto es muy limitada. Las universidades ya no imparten cursos obligatorios sobre café lo cual es crítico para la formación de ingenieros agrónomos. Hay casos de cooperativas como CoopeDota, por ejemplo, que se beneficia con un colegio agropecuario que está formando estudiantes con cursos especializados en café.

A nivel gubernamental, se han dado casos donde personal gerencial es removido de sus puestos con cada cambio de gobierno; el personal técnico de campo es más estable.

El enfoque de género debe estar en sintonía con un enfoque familiar y de equidad de oportunidades para que se logre una participación integral. Sin embargo, hay poca participación de mujeres que brindan asistencia técnica. El ICAFE enfrenta el compromiso de cambiar esta realidad.

Contenidos de capacitación

Los contenidos y métodos de enseñanza son responsabilidad de los técnicos; los resultados se dan en función de cómo están preparados los mismos. En general, los temas tratados abarcan fisiología, nutrición, manejo de tejido, plagas y enfermedades. Algunas limitantes metodológicas tienen que ver, por ejemplo, con el uso exclusivo de *PowerPoint* y no de otras herramientas metodológicas más acordes con los productores.

El productor piensa siempre de manera integral, lo cual demanda que el técnico esté en sintonía con diferentes temas para responder a las diversas inquietudes. Esto obliga a que los técnicos, tanto del ICAFE como del MAG y de otras organizaciones, coordinen y realicen actividades de capacitación más integradoras. Hoy en día existe mucha automatización del pensamiento del productor, así que las capacitaciones tienen que corresponder a procesos y no solo a contenidos puntuales.

Limitaciones sector café

- El relevo generacional es un problema serio en el equipo técnico del MAG; por otro lado, el personal joven tiene muchas limitaciones de comunicación hacia los productores.

- Realizar una investigación aplicada más estructurada con la participación de técnicos y productores en fincas que apoyen la actualización del conocimiento.
- Enfocar más temas de sostenibilidad de fincas y manejo de costos de producción.
- Promover una estrategia nacional de café, actualmente no existente.
- Crear comités regionales de café para poder atender las especificaciones de cada zona.
- La formación universitaria en aspectos del cultivo de café es muy crítica, pues casi no se considera en los programas curriculares.
- Fortalecer el manejo de la tecnología relacionada al cultivo y superar las barreras que no permiten utilizarla.

Desafíos país

Al igual que en los demás países, el estudio más reciente sobre aspectos de capacitación y extensión es el realizado por la FAO (2014). Se presentan tres puntos críticos a ser considerado para el fortalecimiento de los procesos de capacitación y extensión en el país. Por lo tanto, los retos para el sector café se pueden agrupar en 1) ¿Cómo lograr mayor asignación presupuestal? 2) ¿Cómo mejorar y evaluar los impactos de la asesoría rural? y 3) ¿Cómo mejorar la oferta a implementar en finca?

Panamá

Este país cuenta con un área para la producción de café que no supera las 20 000 hectáreas y su número de productores es alrededor de 7000. No cuenta con un instituto de café y toda la agenda de trabajo del cultivo recae básicamente bajo el Ministerio de Desarrollo Agropecuario (MIDA).

A pesar de que el MIDA cuenta con un gran número de técnicos multifuncionales, específicamente para café, no supera los cinco técnicos. Estos apoyan productores ubicados principalmente en las zonas productivas de Chiriquí (Volcán, Bambito y río Sereno) y Santiago.

Evaluación de los servicios de extensión

No hay estudios actualizados que evalúen los servicios de extensión.

Cobertura de atención

Como se mencionó anteriormente, los recursos humanos son limitados. Los productores medianos y grandes

contratan personal técnico privado para que capacite a sus trabajadores.

El enfoque de trabajo y la cobertura del MIDA está más orientado a pequeños productores; atiende aproximadamente a 450.

Caracterización de los eventos de capacitación y asistencia técnica

Los eventos de capacitación tienen un enfoque de educación para adultos; las metodologías más utilizadas son demostración de métodos y resultados y días de campo. Se busca que los productores aprendan haciendo.

El MIDA cuenta con oficinas regionales; sus técnicos realizan giras de campo que pueden incluir visitas a fincas grandes con el objetivo de conocer prácticas de trabajo.

Material didáctico

La oferta de material didáctico es limitada; no se produce mucho material técnico actualizado.

Coordinación

Las actividades de capacitación se coordinan con instituciones locales o bien con empresas privadas cafetaleras de la zona.

Extensionistas y técnicos

El nivel técnico es bueno, pero en cantidad es muy bajo por lo que se necesita trabajar un programa más agresivo de tecnificación rural. Su actualización se basa en capacitación permanente a través de los departamentos de sanidad vegetal tanto de Panamá como de Costa Rica.

Contenidos de capacitación

Se enfatiza el tema de prevención y control de plagas y enfermedades, al igual que el procesamiento y la calidad del café. Hay una tendencia cada vez mayor a utilizar productos orgánicos en el control de plagas.

Desafíos sector café

- El principal desafío está en mejorar la productividad de los pequeños productores, especialmente los que pertenecen a la etnia Ngöbe-Buglé, quienes necesitan incrementar su producción.
- Aumentar el nivel de cobertura técnica, ya que es muy bajo y limitado en recursos.
- Demostrar técnicas innovadoras en las fincas de los productores.

Desafíos país

Al igual que en los demás países, el estudio más reciente sobre aspectos de capacitación y extensión es el realizado por la FAO (2014). En el Recuadro 7 se presentan ocho puntos críticos a ser considerados para el fortalecimiento de los procesos de capacitación y extensión en el país.

Recuadro 7. Puntos críticos para el fortalecimiento de la asistencia técnica y extensión del sector cafetalero de Panamá

Fuente: FAO (2014)

1. Modernización del sector público agropecuario
2. Necesidad de un sistema de planificación, seguimiento y evaluación para el programa nacional de extensión agropecuaria
3. Integración de actores público-privados para fortalecer el sector agropecuario
4. Convenios de cooperación entre universidades y centros especializados para la formación continua
5. Establecer política de créditos y mercados para evitar el abandono de fincas
6. Diseño de un sistema nacional de investigación agropecuaria
7. Potenciar el uso de medios de comunicación masivos, grupales y de TIC
8. Creación de un centro nacional de excelencia en extensión agropecuaria, para fortalecer capacidades

Dentro de las lecciones aprendidas más determinantes mencionadas por la FAO (2014), se indica que “El servicio de extensión a nivel gubernamental está en manos del MIDA con poca o limitada articulación a nivel estatal y privado. Los resultados son pobres por la falta de vinculación de actores”.

Este estudio también hace mención a que, en la actualidad, el sistema de extensión agropecuaria de Panamá se ha estructurado a través de leyes y decretos que le han dado formalidad. No obstante, funciona como un sistema no formalizado, en el cual interactúan una serie de agentes o actores públicos y privados, cada uno con funciones e intereses propios.

Los recursos en el sector público se concentran en el pago de planillas, con pocos fondos destinados a la movilización, capacitación, redes u otros incentivos,

a diferencia de las condiciones de los extensionistas a nivel privado.

Los proyectos ejecutados por el gobierno son evaluados por el cumplimiento presupuestario, mientras que los que ejecuta el sector privado lo son por cobertura, impacto o presupuesto.

La secretaria técnica del MIDA es responsable del establecimiento del sistema de extensión, a través del Programa Nacional de Extensión Agropecuaria, y realiza ajustes en algunos planteamientos propuestos para el servicio de extensión basado en experiencias pasadas.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La agricultura en general enfrenta nuevos retos, de diferente índole, que hacen que el sector se deteriore. El bajo acceso a recursos dentro de los presupuestos de los gobiernos y limitaciones a nivel de herramientas de trabajo para el personal técnico, hacen poco atractivo el sector agrícola para las nuevas generaciones. A esto se suma que el cambio climático le hace perder cada vez más recursos financieros y existe poca resiliencia para afrontar los nuevos retos.

El café, para muchos países de la región, dejó de ser el motor del desarrollo y para otros se vuelve una palanca de generación de empleo rural, conservación de cuencas y todo un ecosistema que cada vez está más amenazado por la falta de recursos.

La transferencia de tecnología hacia los productores contribuirá a que esta actividad no se abandone y no pierda su capacidad productiva. Hoy se requiere contar con estrategias de país que sean apoyadas por políticas públicas que fortalezcan su accionar y la voluntad política de afrontar los nuevos retos. La falta de acceso a recursos financieros está haciendo casi imposible ser resiliente ante muchos cambios.

Uno de los retos transversales identificados en todos los países es la necesidad de incrementar la gestión de fondos públicos y privados para mejorar la cobertura, calidad y contenido de los procesos de capacitación y extensión. La asignación presupuestaria de los gobiernos a los programas de capacitación y extensión está cada vez más comprometida. Por ello, es necesario

resaltar la importancia de diseñar programas de monitoreo nacionales y regionales que permitan cuantificar la relación beneficio/costo de dichas intervenciones. De esta manera, los institutos de café pueden justificar ante las autoridades públicas, privadas y donantes, el retorno que tiene cada dólar invertido en capacitación y extensión y cómo este retorno se visibiliza en toda la cadena de valor. Para ello es necesaria la coordinación estrecha con la academia y los programas de monitoreo futuros.

El extensionismo y la asistencia técnica serán vitales para el cambio de los modelos tecnológicos más promisorios para el café. A continuación se indican recomendaciones para ser consideradas a partir de los hallazgos del presente estudio.

- Fortalecer los conocimientos sobre sistemas de tecnología agroecológica.
- Armonizar agendas de los sectores público y privado a nivel de contenidos de capacitación para la transferencia de tecnologías.
- Establecer instrumentos de evaluación y monitoreo sobre los impactos del aprendizaje de los productores.
- Revisar el campo metodológico de la extensión, que va más allá de solo el uso de ECA.
- Difundir tecnologías y saberes más integrados y no solo conocimientos y tecnologías fragmentadas.
- Usar parcelas demostrativas y apareadas, para evaluar sus resultados y sus réplicas posteriores.
- Incorporar las TIC en los modelos de fortalecimiento de capacidades técnicas y de los productores.
- Acceso a fuentes de financiamiento para la adopción de las tecnologías en el campo.
- Articular trabajos de otros para replicarlos.
- Homologar contenidos para no confundir a los productores.
- Unificar la generación de conocimiento en una plataforma regional para el intercambio y consulta.
- Es importante que los países comprendan que los procesos de asistencia técnica y de extensión son para facilitar la toma de decisiones, pero que es necesario monitorear la adopción de las recomendaciones y su impacto económico para lograr un proceso de mejora continua.
- Seguir fortaleciendo las estrategias con enfoque de familia, género y juventud.

BIBLIOGRAFÍA

- Abril, E. 2017. Análisis y evaluación de los sistemas de transferencia de tecnología y materiales de extensión aplicados y usados en el manejo integral de café. Informe final de diagnóstico. Turrialba, Costa Rica, CATIE-PROCAGICA-IICA-UE. 55p.
- Calivá, J. 2013. PROMECAFE Buenas Prácticas de Extensión para Capacitar, Organizar y Transferir Tecnologías a los productores de Café. (Programa Cooperativo Regional para el Desarrollo Tecnológico y Modernización de la Caficultura) IICA.
- Catullo, J. 2014. RELASER: Una red en crecimiento.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). 2014. Política de Desarrollo Agrícola. Estrategias de Reformas Institucionales en Inversiones para Sistemas de Extensión y Transferencia de Tecnología en Centroamérica y República Dominicana.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación), BID (Banco Interamericano de Desarrollo), RELASER (Red latinoamericana de Servicios de Extensión Rural), 2014. Aprendizajes de las transformaciones de los Sistemas de Extensión y Transferencia Tecnológica de Costa Rica: Una propuesta de lineamientos de política para el futuro. Costa Rica.
- Guevara, L. s. f. Metodologías Participativas de Capacitación para Extensión Cafetalera. Honduras, IHCAFE.
- MAGA (Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación, Guatemala) 2011. Sistema Nacional de Extensión Agrícola 2015. Ciudad Guatemala, Guatemala.
- Sulaiman, R; Davis, K. 2012. El nuevo extensionista: Roles, estrategias y capacidades para fortalecer los servicios de extensión y asesoría. Lindau, Suiza, GFRAS. 20 p.

Reseñas de resultados del proyecto

Fortalecimiento de plataformas nacionales y regional de investigación y transferencia como apoyo a pequeños y medianos productores de café de países que integran el PROMECAFE*

Elias de Melo Virginio Filho¹, Bayron Medina², Jacques Avelino³, Laércio Zambolim⁴, Eduardo Somarriba⁵, Cristian Lizardo⁶, Miguel Barquero⁷, Mario E. Chocooj⁸, Julio Grande⁹, Andrea Zamora¹⁰, Quisqueya Pérez¹¹, Carmen Arjona¹², René León Gómez¹³, Dulce Olbin¹³, Xinia Chávez⁷, Carlos Fonseca⁷, Víctor Vargas⁷, Omar Funez¹⁴, Mario Ordoñez⁶, Gabriela Jiménez⁶, Adán Hernández¹⁰, Miguel Obando¹⁰, Cinthya Gonzales¹⁰, Róger Bolaños¹⁰, Marco Tulio Duarte⁸, Norvin Sepúlveda¹⁵, Eduardo Say¹⁶, Ever Cruz¹⁷, José Sebastián Marcucci¹⁸, Calixto García¹⁹, Harold Gamboa²⁰

RESUMEN

Dentro del marco de referencia del “Programa Centroamericano de Gestión Integral de la Roya del Café (PROCAGICA), financiado por la Unión Europea y ejecutado por IICA-CATIE-CIRAD-CAC en colaboración con los institutos de café de Centroamérica y República Dominicana, el CATIE ha facilitado el proceso de fortalecimiento de las plataformas nacionales y regionales de investigación y transferencia de tecnología. Este trabajo sintetiza los avances y destaca el monitoreo de la roya y sus razas llevado a cabo en el marco de la plataforma regional de seguimiento de la roya, la cual está integrada por siete países vinculados al programa, más la inclusión de México y Jamaica vía apoyo de PROMECAFE. El objetivo de la plataforma es mantener un vínculo de comunicación y seguimiento constante de los procesos de investigación y capacitación sobre el monitoreo de la roya y sus razas en los diferentes países de la región, así como sobre estrategias integrales de manejo de los cafetales. A partir de un primer taller regional, realizado en IHCAFE – Honduras, y reuniones de trabajo a través de

plataformas virtuales, se ha logrado el seguimiento a los acuerdos de un plan de trabajo con actividades regionales definidas con los países, en coordinación con PROMECAFE, institutos nacionales de café y la UFV. Se cuenta con una base de datos documental sobre las diferentes actividades en marcha. La plataforma mantiene la información de los países con sus respectivos boletines de monitoreo e investigación de la roya, variedades susceptibles resistentes/tolerantes, plantas indicadoras de razas y el avance de las razas en la región. La información que se genera fluye en tiempo real, a través de la plataforma *WhatsApp* y por correo electrónico, donde se realizan consultas con expertos como apoyo a la toma de decisiones. El presente artículo enumera los avances de las plataformas, en especial la de roya, y resultados logrados hasta fecha. Además, propone acciones a desarrollar en el futuro.

Palabras clave: colaboración técnica, fortalecimiento de capacidades, roya del café.

*Elaborado a partir del trabajo (Plataforma regional de seguimiento de la roya del café (*Hemileia vastatrix*) en 7 países de PROCAGICA, estrategias y acciones en marcha), presentando en el XXIV Simposio Latinoamericano de Caficultura, ANACAFE, PROMECAFE, Guatemala, 2019

- 1 CATIE-PROCAGICA-IICA-UE, Costa Rica; eliasdem@catie.ac.cr
- 2 CATIE-PROCAGICA-IICA-UE, Guatemala
- 3 CIRAD-Centro de cooperación internacional en investigación agrónómica para el desarrollo/CATIE, Costa Rica
- 4 UFV-Universidad Federal de Viçosa, Brasil
- 5 CATIE-Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, Costa Rica
- 6 IHCAFE-Instituto Hondureño del Café, Honduras
- 7 ICAFE-Instituto del Café de Costa Rica, Costa Rica
- 8 ANACAFE-Asociación Nacional del Café, Guatemala
- 9 CENTA Café-Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria, El Salvador
- 10 INTA - Instituto Nicaragüense de Tecnología Agropecuaria, Nicaragua
- 11 INDOCAFE-Instituto Dominicano del Café, República Dominicana

- 12 MIDA-Ministerio de Desarrollo Agropecuario, Panamá
- 13 PROMECAFE-Programa Cooperativo Regional para el Desarrollo Tecnológico y Modernización de la Caficultura, Guatemala
- 14 CONACAFE-Consejo Nacional del Café, Honduras
- 15 CATIE-Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, Nicaragua
- 16 CATIE-Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, Guatemala
- 17 PROCAGICA-Programa Centroamericano de Gestión Integral de la Roya del Café /IICA-Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas, El Salvador
- 18 IICA-PROCAGICA-ANACAFE, Guatemala
- 19 PROCAGICA-IICA, Honduras
- 20 PROCAGICA-IICA, Costa Rica

ABSTRACT

Within the framework of the “Central American Program for the Comprehensive Management of Coffee Rust (PROCAGICA), financed by the European Union and executed by IICA-CATIE-CIRAD-CAC in collaboration with the coffee institutions, CATIE has facilitated the process of strengthening of national and regional research and technology transfer platforms. This work synthesizes the progress and highlights the monitoring of coffee rust and its races carried out by the regional platform for monitoring rust, which is made up of 7 countries linked to the program, plus the inclusion of Mexico and Jamaica via the support of PROMECAFE. The objective of the platform is to maintain a communication link and constant monitoring of the research and training processes on the monitoring of rust and its races in the different countries of the region, as well as on comprehensive coffee plantation management strategies. Based on a first regional workshop, held at IHCAFE-Honduras and working meetings

through virtual platforms, it has been possible to follow up on the agreements of a work plan, with regional activities defined with the countries, this in coordination with PROMECAFE, National Coffee Institutes and the UFV. There is a documentary database on the different activities underway. The platform maintains the information of the countries with their respective monitoring and research bulletins on rust, susceptible resistant/tolerant varieties, race indicator plants and the advancement of races in the region. The information that is generated flows in real time, through the *WhatsApp* platform and by email, where consultations with experts are carried out to support decision-making. This summary lists the progress of the platforms, especially the rust one, and results achieved to date. In addition, it proposes actions to be developed in the future.

Keywords: technical collaboration, capacity building, coffee rust.

INTRODUCCIÓN

La roya del café es la más severa enfermedad del cultivo. Desde que fue reportada en 1869, ha causado grandes pérdidas en la producción y en las áreas de cultivo en países de Asia, África y América. Una vez establecida, no ha sido posible erradicarla a pesar de las múltiples estrategias implementadas y los productores han tenido que adaptarse y convivir con ella.

La falta de una mayor colaboración entre los países productores de café es uno de los factores centrales que ha llevado a la continua devastación del cultivo por la enfermedad, lo que afecta los medios de subsistencia de los agricultores en toda la región (Virginio Filho *et al.* 2015).

Frente al contexto de una fuerte epidemia de roya y, en particular en el contexto del cambio climático, el Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA), con la participación de varias instituciones sociales y con el financiamiento de la Unión Europea (UE), está ejecutando el Programa Centroamericano de Gestión Integral de la Roya del Café (PROCAGICA). Bajo este contexto, el IICA ha firmado convenios de colaboración con el Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE) y los institutos nacionales de café de la región, con el fin de implementar acciones regionales y nacionales que permitan el fortalecimiento de capacidades de familias productoras protagonistas, técnicos y sus instituciones para la promoción de una caficultura más sostenible.

La pérdida de la resistencia a la roya por parte de la variedad Lempira, verificada en Honduras por el Instituto Hondureño del Café (IHCAFE), ha motivado el intercambio científico de los países en lo relacionado con el reconocimiento y caracterización de las razas de *Hemileia vastatrix*, que podrían encontrarse en los países miembros de PROMECAFE.

El CATIE, dentro de PROCAGICA, coordina y facilita actividades de investigación aplicada para actualizar el conocimiento, fortalecimiento de capacidades y aprendizajes de la roya en su dinámica epidémica en variedades susceptibles y resistentes, así como el monitoreo de las razas de roya. Para ello se han establecido mecanismos de coordinación y colaboración con el Programa Cooperativo Regional para el Desarrollo Tecnológico y Modernización de la Caficultura (PROMECAFE), el Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement (CIRAD), la Universidade Federal de Viçosa (UFV), y a nivel de las instituciones de café con la Asociación Nacional del Café (ANACAFE, Guatemala), el Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal (CENTA Café, El Salvador), el Instituto Hondureño del Café (IHCAFE), el Instituto del Café (ICAFE, Costa Rica), el Instituto Nicaragüense de Tecnología Agropecuaria (INTA), el Instituto Dominicano del Café (INDOCAFE), el Ministerio de Desarrollo Agropecuario (MIDA, Panamá). Además de la participación complementaria de PROMECAFE en el Colegio de Postgraduados (COLPOS), Chiapas, México y en la Coffee Industry Board Head Office (CIBOJ), Jamaica.

A partir de un primer taller de diagnóstico regional (“Caracterización de razas de *Hemileia vastatrix*”) en los países de PROMECAFE, realizado en Santa Bárbara, Honduras, el 7 de mayo de 2018 con el apoyo de IHCAFE, se conocieron los avances nacionales e institucionales en monitoreo, vigilancia e investigación sobre razas de roya y su incidencia sobre variedades de café susceptibles y resistentes de 10 países (CATIE-PROCAGICA-IICA 2018). También, se alcanzaron acuerdos para su seguimiento, los cuales deben ser desarrollados por los países en coordinación con PROMECAFE y PROCAGICA.

A partir de dicho evento se conformó la plataforma regional de roya, la cual está integrada por especialistas responsables de la vigilancia y monitoreo en sus respectivos países. La plataforma posee mecanismos de comunicación e integración a través de una red web-*WhatsApp*, para una comunicación permanente, además de talleres presenciales (uno por año) y talleres virtuales de forma bimensual. Esto proporciona información actualizada para la toma de decisiones en la gestión y el manejo de la epidemia y su impacto sobre las variedades.

Por otro lado, CATIE-PROCAGICA ha dado seguimiento a la plataforma regional de PROMECAFE y a las plataformas nacionales de investigación y transferencia tecnológica, contribuyendo a la elaboración e implementación de los planes de fortalecimiento de las agendas de promoción de caficultura integral y sostenible en la región.

OBJETIVOS

Para la plataforma regional (PROMECAFE) y las nacionales, el objetivo general fue promover la colaboración interinstitucional para el seguimiento y fortalecimiento de la investigación, transferencia tecnológica y fortalecimiento de capacidades para la gestión integral de cafetales, con énfasis en control de plagas y enfermedades.

METODOLOGÍA

Para el trabajo y seguimiento de acciones de la plataforma regional de PROMECAFE, el mecanismo utilizado por CATIE-PROCAGICA fue el seguimiento a reuniones de los comités técnico y directivo del PROMECAFE, eventos internacionales técnico-científicos, así como la realización de eventos regionales vinculados a las agendas de fortalecimiento de la investigación y promoción de innovaciones para el sector.

Para las plataformas nacionales se coordinó directamente con las instituciones cafetaleras de cada país en colaboración con otras instituciones y organizaciones vinculadas al sector cafetalero. De igual manera, las estrategias metodológicas se centraron en la realización de talleres y reuniones de trabajo.

Tanto el trabajo desarrollado con la plataforma regional como con las plataformas nacionales de investigación y transferencia, contaron con información generada por la red de fincas (224) de investigación/validación en cinco países (Costa Rica, El Salvador, Guatemala, Honduras y Nicaragua), en estudios aplicados en el ensayo de largo plazo de sistemas agroforestales con café (CATIE, Turrialba), estudios de tesis de posgrado y consultorías temáticas especializadas, así como de sistemas de monitoreo nacionales.

Por otro lado, se creó una plataforma regional de la roya con el propósito de brindar fortalecimiento de capacidades nacionales y regionales para el conocimiento e identificación de las razas, así como el monitoreo de variedades de café resistentes/tolerantes a la roya y vigilancia de los cambios en reacciones genéticas a la *Hemileia vastatrix*, promoviendo su transferencia y difusión.

La plataforma regional de seguimiento de la roya del café, se establece a través de los mecanismos formales acordados en el convenio dentro del marco del proyecto PROCAGICA y los compromisos vinculantes establecidos en los planes operativos del proyecto y su ejecución por las instituciones socias en los países.

La plataforma se operativiza a través de cuatro mecanismos de implementación:

- a) Acuerdos de cooperación técnica entre CATIE-PROCAGICA-IICA y las instituciones nacionales de café para el monitoreo de roya y sus razas. Estos acuerdos se concretizaron en un plan de trabajo y asignaciones presupuestarias para apoyos específicos, con base en los requerimientos de cada institución. Dentro de los compromisos de estos acuerdos están: facilitación de eventos y gestiones relacionadas al estudio de razas de roya, apoyo para los estudios de monitoreo de roya, promover el fortalecimiento de capacidades técnicas y mejoramiento de capacidad instalada (laboratorios), entre otros.

- b) Talleres de diagnóstico y capacitación presenciales. Estos planes operativos contemplaron el fortalecimiento de capacidades a través de talleres presenciales en encuentros regionales anuales que buscaron la complementariedad, las sinergias y la cooperación entre países. Para los eventos de capacitación presencial se conformó un comité técnico del taller o curso, que incluyó a las organizaciones socias (CATIE, CIRAD, IICA, UFV) y PROMECAFE, quienes propusieron una nota conceptual con el contenido de agenda, presupuesto y logística necesaria.
- c) Talleres a través de videoconferencias. Para el seguimiento de los acuerdos y avances de los países se establecieron encuentros a través de videoconferencias, las cuales funcionan a través de una coordinación entre CATIE-PROCAGICA-IICA y PROMECAFE, quienes definen una agenda y realizan la convocatoria. La agenda de las videoconferencias contempló el seguimiento a los acuerdos establecidos, los avances de los países respecto al desarrollo de la epidemia, las respuestas de las diferentes variedades de café a nivel de cada país, y sus respectivas regiones cafetaleras. Además, según requerimientos del grupo, se presentaron temas complementarios para fortalecer las capacidades técnicas y operativas de los técnicos de la región para el manejo integral de la roya. Las videoconferencias se establecieron de manera bimensual y se elaboraron y enviaron ayudas memoria con los acuerdos y las presentaciones realizadas en el taller.
- d) Plataforma web-*WhatsApp*. Ha sido uno de los canales de comunicación más efectivos de la Red, ya que además de mantener una comunicación e información en tiempo real y de manera fluida, incluye el envío de contenidos de archivos multiformato como informes de investigación y monitoreo, entre otros.

RESULTADOS

a) Plataforma regional de PROMECAFE

Las acciones colaborativas con PROMECAFE y vinculadas con el Sistema de la Integración Centroamericana (SICA), el Consejo Agropecuario Centroamericano (CAC), el IICA, e instituciones relacionadas al sector café de los países de América Central, República Dominicana y México, estuvieron vinculadas con la implementación del plan regional de PROMECAFE, elaborado de manera participativa entre instituciones integrantes de la plataforma regional. Los aportes de CATIE-PROCAGICA-IICA-UE fueron dirigidos al fortalecimiento de la investigación, la transferencia tecnológica y el fortalecimiento de capacidades de decisores, técnicos y familias productoras. Las contribuciones fueron articuladas en 22 eventos aproximadamente, entre los meses de mayo 2017 a marzo 2021; entre ellos, apoyo a una cumbre mundial de la roya del café, tres simposios internacionales, participación en al menos cuatro reuniones del comité técnico y seis del consejo directivo de PROMECAFE, dos videoconferencias regionales, cuatro talleres interinstitucionales de carácter regional y un curso estratégico para el fortalecimiento de capacidades de técnicos de café de la región (Cuadro 1).

De manera general, CATIE-PROCAGICA-IICA-UE contribuyó con el fortalecimiento de capacidades en distintos temas, entre ellos: buenas prácticas en café, crisis climática y resiliencia climática, planes de adaptación al cambio climático, monitoreo y manejo integrado de plagas y enfermedades, diseño y manejo de sistemas agroforestales con café, mecanización para la regulación de sombra, biodiversidad y diversificación de cafetales y fincas, contribuciones del sector cafetalero a los servicios ambientales y variedades mejoradas de café. Este consorcio también participó en el desarrollo de productos claves del proceso de concertación interinstitucional regional, entre ellos: conformación y fortalecimiento de la Plataforma Interinstitucional de la Roya del Café (detallada a continuación), aportes al Plan Estratégico para la Caficultura en la Región-SICA (PERcafé) de Desarrollo Intersectorial Sostenible, la estrategia y plan de sostenibilidad de PROMECAFE, sistematización del estado actual de NAMA-café y lineamientos para acciones sobre café y clima en América Central, República Dominicana y México.

Cuadro 1. Actividades de seguimiento de la plataforma regional de PROMECAFE, SICA-CAC con apoyo de actividades del Programa Centroamericano de Gestión Integral de la Roya (CATIE-PROCAGICA-IICA-UE, mayo 2017 a febrero 2021)

Evento/actividad	Fecha	Observaciones (aportes CATIE-PROCAGICA-IICA-UE, instituciones colaboradoras)
Simposio Internacional sobre la Roya del Café, ANACAFE, Ciudad de Guatemala, Guatemala	2-05-2017	- CATIE-PROCAGICA-IICA-UE aportó el tema de buenas prácticas en café en el contexto de crisis climática
Simposio Latinoamericano de Caficultura, Honduras Coord. PROMECAFE-IHCAFE	25 a 27-08-2017	- CATIE-PROCAGICA-IICA-UE apoyó a PROMECAFE e IHCAFE en la organización del simposio (comité técnico-científico y conferencias y presentaciones sobre “La caficultura regional frente la variabilidad climática, resultados de estudio sobre los impactos del cambio climático y la capacidad adaptativa de las fincas de café de Honduras”). El CIRAD presentó los conocimientos inéditos (SAF y roya) generados en investigaciones en el Ensayo de Largo Plazo en Sistemas Agroforestales de Café del CATIE. En coordinación con IICA y PROMECAFE se hizo la primera reunión de trabajo de la Plataforma Regional de la Roya con la participación del profesor Laércio Zambolim (UFV, Brasil), CIRAD y las organizaciones de café de Guatemala, Honduras, El Salvador, Nicaragua, Costa Rica, República Dominicana y Panamá
Reunión comité técnico y consejo directivo PROMECAFE, Managua, Nicaragua	30-10-2017	- CATIE-PROCAGICA-IICA-UE compartió las diferentes acciones desarrolladas con PROMECAFE y las instituciones nacionales - Participación: ANACAFE, CENTA CAFÉ, INTA, ICAFE, MIDA, JNC-PERÚ, CODOCAFE, CIB-JAMAICA, CIRAD, IICA, CATIE-PROCAGICA, OIRSA, FAO, SAGARPA-MÉXICO
Videoconferencia sobre café, abejas y el cambio climático. Coordinación IICA-PROCAGICA y CATIE	13-11-2017	- Participación de personal técnico de PROCAGICA en América Central y República Dominicana, así como los representantes de IICA en los países
Taller regional de alto nivel de “Café SICA- Desarrollo Intersectorial Sostenible”. Organización SICA-CAC en apoyo CATIE-PROCAGICA-IICA-UE, Ciudad de Guatemala, Guatemala	23 y 24-08-2018	- CATIE-PROCAGICA-IICA-UE moderó la mesa ambiental del taller; además presentó ponencia sobre importancia ambiental de los cafetales de Mesoamérica - Presentes representantes de: IICA, UE, SICA, MAGA (Guatemala), MAG (Costa Rica), CATIE-PROCAGICA-IICA, comité regional de recursos hidráulicos (CRRH-SICA), ANACAFE, PROMECAFE, CIRAD
Videoconferencia sobre mecanización en sistemas agroforestales de café, coordinación CATIE-PROCAGICA e IICA-PROCAGICA, El Salvador	30-08-2018	- Antecedentes y establecimiento de red de 224 fincas de investigación/validación CATIE-PROCAGICA-IICA Mecanización en manejo de cafetales resultados preliminares, costos de operación en validaciones en Ensayo de Largo Plazo de Sistemas Agroforestales con Café - Participaron 21 técnicos de cinco países: Nicaragua, El Salvador, Costa Rica, Honduras, Guatemala (IICA-PROCAGICA, INTA, IHCAFE, CENTA CAFÉ, CIRAD)
III cumbre mundial de la roya, Ciudad de México. Coordinación PROMECAFE y SAGARPA	4 a 7-09-2018	- CATIE-PROCAGICA-IICA-UE apoyó la organización de la cumbre y en especial la moderación del foro “Riesgos y desafíos de las variedades frente a la roya y cambio climático”
Reunión comité técnico de PROMECAFE, Portland, USA	15-09-2018	- CATIE-PROCAGICA-IICA-UE participó de manera virtual y compartió sobre las diferentes acciones desarrolladas con PROMECAFE y las instituciones nacionales
Curso regional de caficultura moderna, Coordinación PROMECAFE, IHCAFE, con apoyo CATIE-PROCAGICA-IICA-UE y otros. La Fe, Santa Bárbara, Honduras	21-10 a 3-11-2018	- Curso intensivo de amplia tradición, en su mayoría con jóvenes técnicos que están en las instituciones de café de la región de PROMECAFE - CATIE-PROCAGICA-IICA-UE apoyó la organización y desarrollo del evento. Impartió el módulo 3 sobre agroforestería, café y clima en colaboración con el IHCAFE, así como el tema rigor científico en la investigación de café

Evento/actividad	Fecha	Observaciones (aportes CATIE-PROCAGICA-IICA-UE, instituciones colaboradoras)
Reunión consejo directivo de PROMECAFE, San José, Costa Rica	6 y 7-11-2018	- CATIE-PROCAGICA-IICA-UE participó y compartió sobre las diferentes acciones desarrolladas con PROMECAFE y las instituciones nacionales - Participantes: ICAFE-IHCAFE-ANACAFE-IICA-WCR-SAGARPA-AMECAFE (México)-MIDA (Panamá)-CECAC-WCR
II taller de alto nivel regional “Café SICA- Desarrollo Intersectorial Sostenible”. Organización SICA-CAC con apoyo de CATIE-PROCAGICA-IICA-UE y otros, Ciudad de Panamá, Panamá	3 y 4-12-2018	- CATIE-PROCAGICA-IICA-UE moderó la mesa ambiental - Participantes: CAC-SICA-MIDA (Panamá), IICA, CATIE-PROCAGICA, ICAFE-PROMECAFE-CIRAD-ICAP-SIECA-INTA (Nicaragua), CEPREDENAC-CRRH-SICA
Reunión comité técnico de PROMECAFE, reunión virtual	14-02-2019	- Análisis sobre la promoción de Robusta en países de PROMECAFE. Organización del XXIV Simposio Latinoamericano de Caficultura realizado en Guatemala - Participantes: PROMECAFE, ICAFE, CATIE-PROCAGICA-IICA-UE
Taller regional del SICA (apoyo IICA-PROCAGICA-CATIE-CIRAD-CAC-UE), San Salvador, El Salvador	23-04-2019	- Elaboración Plan Estratégico para la Caficultura de la Región SICA (PERcafé) - Participantes: INTA, IICA-PROCAGICA-UE, IICA, CATIE, ICAFE, ANACAFE, IHCAFE, INDOCAFE, MIDA, PROMECAFE, CIAT, SICA, CENFROMYPE, CAC, SECAC, FAO, COMMCA, MAG (Costa Rica), SISCA, BCIE
Reunión comité técnico de PROMECAFE, San Salvador, El Salvador	24-04-2019	- Preparación de trabajos para desarrollo de estrategia y sostenibilidad de PROMECAFE. Organización del XXIV Simposio Latinoamericano de Caficultura realizado en septiembre 2019 en Guatemala. Presentación de informe de actividades de acciones colaborativas con IICA-PROCAGICA-UE y CATIE-PROCAGICA-IICA-UE y otros colaboradores - Participantes: CATIE-PROCAGICA-IICA-UE, ICAFE, ANACAFE, IHCAFE, INDOCAFE, MIDA, INTA
Reunión consejo directivo de PROMECAFE, reunión virtual	2-07-2019	- Preparación de la participación de PROMECAFE en foro mundial de productores a ser realizado en Brasil. Organización del simposio latinoamericano de caficultura realizado en Guatemala - Participantes: SARGAPA (México), IHCAFE (Honduras), INDOCAFE (República Dominicana), ICAFE (Costa Rica), WCR-CATIE-ANACAFE
Taller regional NAMA-café, Coordinación CATIE-PROCAGICA-IICA-UE, IICA, PROMECAFE, ANACAFE e ICAFE, Ciudad de Guatemala, Guatemala	3-09-2019	- Revisión del estado de NAMA-café y lineamientos de acciones sobre café y clima en América Central, República Dominicana y México - Participantes: 25 técnicos pertenecientes a mesas nacionales de los países PROMECAFE (México, Guatemala, El Salvador, Honduras, Nicaragua, Costa Rica y República Dominicana) CATIE-PROCAGICA-IICA-UE, PROMECAFE, ICAFE, IHCAFE, ANACAFE, IICA, CEPAL-IPSA (Nicaragua), Consejo Salvadoreño del Café, INDOCAFE, Fundación Hanns Neumann
XXIV Simposio Latinoamericano de Caficultura, Ciudad de Guatemala, Guatemala. Coordinación PROMECAFE y ANACAFE	4 a 7 -09-2019	- CATIE-PROCAGICA-IICA-UE apoyó la organización del simposio que tuvo como eje principal “La investigación, un pilar por una caficultura rentable, innovadora, competitiva y socialmente sostenible en cada eslabón de la cadena del café”, en particular en la coordinación del comité técnico científico. El componente CATIE-PROCAGICA-IICA-UE presentó en total 12 trabajos técnicos-científicos con resultados de varios trabajos en marcha en la región
Reunión consejo directivo de PROMECAFE, reunión virtual	13-09-2019	- Posicionamiento de PROMECAFE ante la crisis de precio internacional del café - Participantes: SAGARPA (México), SCA-ICAFE-IHCAFE, CATIE, ANACAFE

Evento/actividad	Fecha	Observaciones (aportes CATIE-PROCAGICA-IICA-UE, instituciones colaboradoras)
Reunión consejo Directivo de PROMECAFE, Jacó, Costa Rica	12 y 13-11-2019	<ul style="list-style-type: none"> - Organización curso de caficultura moderna realizado de manera colaborativa con CATIE-PROCAGICA-IICA, ICAFE y PROMECAFE. Organización del taller regional de estudio y monitoreo de razas de roya, realizado en República Dominicana con la facilitación de CATIE-PROCAGICA-IICA-UE. Plan estratégico de mediano plazo de PROMECAFE. plan anual de acción PROMECAFE 2019-2020 - Presentación de informe de actividades de acciones colaborativas con IICA-PROCAGICA-UE y CATIE-PROCAGICA-IICA-UE y otros colaboradores - Estrategia mesoamericana de fortalecimiento de la caficultura-MESOCAFE - Participantes: ICAFE (Costa Rica), INDOCAFE-IICA-INTA-IHCAFE-WCR-CIB (Jamaica), SAGARPA (México), MAG (El Salvador), ANACAFE
Reunión consejo directivo de PROMECAFE, reunión virtual	12-03-2020	<ul style="list-style-type: none"> - Plan estratégico PROMECAFE. Avances del proyecto Promoción de Consumo Interno de Café- OIC. Organización del curso de caficultura innovadora realizado de manera colaborativa entre CATIE-PROCAGICA-IICA-UE, ICAFE y PROMECAFE - Participantes: IICA, ICAFE, ANACAFE, INDOCAFE, CATIE, WCR, INTA, SAGARPA, IHCAFE, CIB (Jamaica)
Diplomado internacional de caficultura innovadora: formando profesionales en café (evento virtual)	23-11-2020 a 17-02-2021	<ul style="list-style-type: none"> - Curso técnico-científico para formación de personal técnico en café. Coordinación de PROMECAFE, y co-organización de CATIE (Unidad de Capacitación Técnica y grupo de especialistas en café), ICAFE e IICA-PROCAGICA. El curso contó con apoyo de varias organizaciones vinculadas al sector café en Mesoamérica y en especial de los institutos nacionales de café

b) Plataformas nacionales

De manera más directa, CATIE-PROCAGICA-IICA-UE facilitó el trabajo de las plataformas interinstitucionales de investigación y transferencia tecnológica en cuatro países (El Salvador, Guatemala, Honduras y Nicaragua). Por otro lado, hubo vínculos y enlaces con actividades desarrolladas con República Dominicana (IICA-PROCAGICA-UE) y con Costa Rica vía coordinación con el ICAFE. Un eje central de acciones fue la realización de 13 talleres realizados entre julio de 2017 a noviembre 2020 (Cuadro 2.). El seguimiento y apoyo a las plataformas nacionales contaron con otros espacios de intervención como los eventos desarrollados por técnicos de CATIE-PROCAGICA-IICA-UE, IICA-PROCAGICA-UE, CIRAD-PROCAGICA-UE, CAC-PROCAGICA-UE, así como con otras organizaciones colaboradoras como PROMECAFE, FEWS NET, entre otras. Honduras y Nicaragua fueron los países que mostraron mayor dinamismo previamente a la facilitación de CATIE-PROCAGICA-IICA-UE en los procesos de las mesas nacionales; ambos contaron con una base operativa mínimamente estructurada.



Primer taller de la plataforma nacional de investigación y transferencia de Guatemala, 21 de marzo de 2018. Foto: E. de M. Virginio Filho.

Cuadro 2. Actividades de seguimiento a las plataformas nacionales por país (El Salvador, Guatemala, Honduras y Nicaragua) apoyadas por CATIE-PROCAGICA-IICA-UE (julio 2017 a noviembre 2019)

Eventos/actividad	Fecha	Temas considerados	Observaciones
El Salvador			
Taller de la plataforma nacional de café. Coordinación CATIE-IICA-UE y CENTA CAFÉ Santa Tecla	24-04-2018	<ul style="list-style-type: none"> - Antecedentes de la constitución de la mesa interinstitucional local - Plan de acción seguimiento a la investigación, transferencia y fortalecimiento de capacidades - Concertación de los temas de seguimiento - Principales enfoques en la implementación de acciones para el sector cafetalero nacional - Seguimiento de acciones de la plataforma regional de PROMECAFE - Información sobre mesas nacionales de otros países - Acciones PROCAGICA en El Salvador - Sistemas de alerta temprana 	Apoyo a agenda: CATIE-PROCAGICA-IICA-UE, CIRAD, IICA-PROCAGICA-UE (El Salvador), CENTA CAFÉ Otras organizaciones presentes: IICA, CRS, CLUSA, UES (universidad), FIAES, ENA, Universidad de Texas (sesión El Salvador), Proyecto África 70, Asociación. Cafetalera Salvadoreña, CATIE (El Salvador)
Participación en taller regional con plataformas nacionales y regional NAMA-café Ciudad de Guatemala, Guatemala	2 y 3-09-2019	<ul style="list-style-type: none"> - Presentación avances NAMA-café El Salvador - Aportes CATIE-PROCAGICA-IICA-UE a los procesos de NAMA-café - Los mecanismos de NAMA - Resultados de pilotos - Retos de la caficultura - NAMA-PLUS (adaptación y cadena de valor-café) - Opciones de financiación de NAMA - Estado actual de NAMA en países PROMECAFE - Mecanismos complementarios sobre café y clima - Catálogo de prácticas - Algunas barreras 	Apoyo a agenda: ANACAFE, CATIE-PROCAGICA-IICA-UE, PROMECAFE, CEPAL, ICAFE, IHCAFE, Fundación Neumann, IPSA, CSC, INDOCAFE Participación plataforma nacional El Salvador: Consejo Salvadoreño de Café-CSC Otras organizaciones: MARN, USAC, IICA, MAG (Costa Rica), Ases, MAGA (Guatemala), Universidad de Texas, CATIE-El Salvador y Guatemala
Guatemala			
Taller de la plataforma nacional de café Coordinación CATIE-IICA-UE y ANACAFE Ciudad de Guatemala, Guatemala	21-03-2018	<ul style="list-style-type: none"> - Antecedentes de la constitución de la mesa interinstitucional local - Plan acción seguimiento investigación, transferencia y fortalecimiento de capacidades - Concertación de los temas de seguimiento - Acciones PROCAGICA en Guatemala - Plataformas de información Coffee Cloud-ANACAFE - Análisis de los servicios de asistencia técnica, transferencia de tecnología y fortalecimiento de capacidades nacionales - Seguimiento de acciones en plataforma regional de PROMECAFE - Información sobre mesas nacionales de otros países - Mesa técnica agroclimática de Chiquimula 	Apoyo a agenda: CATIE-PROCAGICA-IICA-UE, IICA, PROCAGICA-ANACAFE, CIRAD Otras organizaciones presentes: MAGA, Universidad Rafael Landívar, Universidad del Valle, Asociación de Reservas Naturales Privadas, Fundación Neumann, FEWS NET, ADEC, CATIE (Guatemala), Asociación de Mujeres Productoras de Café, INSIVUMEH
Taller de la plataforma nacional de café. Realizado en Costa Rica. Coordinación ANACAFE-ICAFE-UNIVERSIDAD DE GREENWICH, CATIE-PROCAGICA-IICA-UE	18-06-2019	<ul style="list-style-type: none"> - Iniciativas de investigación/validación sobre sostenibilidad socioeconómica y ambiental de café agroforestal. Aportes tema café y clima en particular NAMA-café - Fortalecimiento de la agenda de investigación y fortalecimiento de actores locales 	Apoyo a agenda: universidad de Greenwich, ICAFE, UVG Participación plataforma nacional Guatemala: Universidad del Valle Guatemala Otras organizaciones: MAG (Costa Rica), MINAE (Costa Rica), CIRAD

Eventos/actividad	Fecha	Temas considerados	Observaciones
Participación en taller regional con plataformas nacionales y regional NAMA-café Ciudad Guatemala, Guatemala	2 y 3-09-2019	<ul style="list-style-type: none"> - Presentación avances NAMA-café Guatemala - Temas de 2 a 11 indicados anteriormente en sesión de El Salvador 	<p>Apoyo a agenda: ANACAFE, CATIE-PROCAGICA-IICA-UE, PROMECAFE, CEPAL, ICAFE, IHCAFE, Fundación Neumann, IPSA, CSC, INDOCAFE</p> <p>Participación plataforma nacional Guatemala: MARN, ANACAFE, USAC, IICA, Ases, MAG</p> <p>Otras organizaciones: MAG (Costa Rica), Universidad de Texas, CATIE, El Salvador y Guatemala</p>
Honduras			
Taller mesa café- Marcala, La Paz Coordinación CATIE-PROCAGICA-IICA-UE e IHCAFE	1-08-2017	<ul style="list-style-type: none"> - Antecedentes de la constitución de la mesa interinstitucional local - Plan acción seguimiento investigación, transferencia y fortalecimiento de capacidades - Concertación de los temas de seguimiento - Seguimiento a las acciones de alerta temprana - Actualización sobre los estudios de monitoreo y razas de roya - Revisión de protocolos de manejos convencionales y orgánicos de cafetales - Diagnósticos de estado actual de cafetales 	<p>Aportaron a la agenda: IICA-PROCAGICA-UE (Honduras y Regional), CATIE-PROCAGICA-IICA-UE, IHCAFE, CIRAD</p> <p>Otras organizaciones presentes: COMBRIFOL, ADOPGM, CABRIPEL, COMSA, MAMCEPAZ, Pacaya Coffee, Catracha Coffee, AHPROCAFE, ACSUSAID, finca Los Catadores, RAOS, ASOMAINCUPACO</p>
Taller mesa café- Marcala, La Paz. Coordinación CATIE-PROGICA-IICA-UE, IHCAFE y CAC	10-07-2018	<ul style="list-style-type: none"> - Seguimiento de acciones en plataforma regional de PROMECAFE - Información sobre mesas nacionales de otros países - Información sobre procesos en marcha de mesas locales de café en Honduras - Análisis de los servicios de asistencia técnica, transferencia de tecnología y fortalecimiento de capacidades locales - Estudio y monitoreo de roya - Variedades mejoradas - Fortalecimiento de capacidades de los equipos técnicos locales - Seguimiento a NAMA-café - Producción y uso de bioinsumos - Seguimiento red de parcelas PROCAGICA - Género, familia y juventud en la actividad cafetalera - Gobernanza de la mesa café- Marcala 	<p>Apoyo a agenda: IACP, CAC, IHCAFE, IICA-PROGICA-UE (Honduras), CATIE-PROCAGICA-IICA-UE</p> <p>Otras organizaciones presentes: Cooperativa RAOS, CHPP, UPI, finca Los Catadores, APROLMA</p>
Participación en taller regional con plataformas nacionales y regional NAMA-café Ciudad Guatemala, Guatemala	2 y 3-09-2019	<ul style="list-style-type: none"> - Presentación avances NAMA-café Honduras - Temas de 2 a 11 indicados anteriormente en sesión de El Salvador 	<p>Apoyo a agenda: ANACAFE, CATIE-PROCAGICA-IICA-UE, PROMECAFE, CEPAL, ICAFE, IHCAFE, Fundación Neumann, IPSA, CSC, INDOCAFE</p> <p>Participación plataforma nacional Honduras: IHCAFE</p> <p>Otras organizaciones: MARN, USAC, IICA, MAG (Costa Rica), Ase, MAGA (Guatemala), Universidad de Texas, CATIE-El Salvador y Guatemala</p>

Eventos/actividad	Fecha	Temas considerados	Observaciones
Taller mesa café - Marcala, La Paz. Coordinación CATIE-PROCAGICA-IICA-UE, IICA-PROCAGICA e IHCAFE	8-11-2019	<ul style="list-style-type: none"> - Revisión y seguimiento actividades en marcha de la mesa café-Marcala - Avances de actividades en marcha en colaboración con IICA-PROCAGICA-UE - Avances de acciones en 50 fincas de aprendizaje CATIE-PROCAGICA-IICA-UE - Acciones colaborativas con otras organizaciones de la mesa café-Marcala (IHCAFE, AHPROCAFE, CARE-PROLENCA, DO CAFÉ MARCALA, CANATUHR, Visión Mundial, CHP, HEIFER) - Acciones futuras (plan estratégico de la mesa café-Marcala) 	<p>Apoyo a agenda: IHCAFE, CATIE-PROCAGICA-IICA-UE, IICA-PROCAGICA y organizaciones integrantes de la Mesa</p> <p>Participación plataforma/mesa café Marcala: IHCAFE, AHPROCAFE, CARE-PROLENCA, DO CAFÉ MARCALA, CANATUHR, VISIÓN MUNDIAL, CHP, HEIFER</p>
Nicaragua			
Taller plataforma nacional café (SINIA-CAFÉ) Coordinación CATIE-PROCAGICA-IICA-UE, INTA San Isidro, Matagalpa	25-07-2017	<ul style="list-style-type: none"> - Antecedentes de la constitución de la mesa interinstitucional local - Plan acción seguimiento investigación, transferencia y fortalecimiento de capacidades - Concertación de los temas de seguimiento - Vínculos entre agenda de plataforma regional de PROMECAFE y plataforma nacional café de Nicaragua (SINIA-CAFÉ) 	<p>Apoyo a agenda: CATIE-PROCAGICA-IICA-UE, IICA-PROCAGICA-UE (Nicaragua), INTA</p> <p>Otras organizaciones presentes: CDT/INTA, cooperativas de productores de café de Jinotega, Nueva Segovia y Matagalpa, COCENFRO, COMUPRADES, CNCJ/CLAC, CRS, CATIE-Nicaragua, MEFCCA, IPSA, Instituto Tecnológico de Ocotol, IPADEN- San Isidro, UCATSE, INATEC</p>
Taller plataforma nacional café (SINIA-CAFÉ) Coordinación CATIE-PROCAGICA-IICA-UE, INTA San Isidro, Matagalpa	12-10-2018	<ul style="list-style-type: none"> - Seguimiento plan de actividades de la plataforma SINIA-CAFE - Materiales de comunicación en apoyo a los sistemas de alerta temprana - Resultados de taller FONTAGRO/ PROMECAFE sobre redes de alerta temprana - Avances de otras actividades del componente CATIE-PROCAGICA-IICA-UE y IICA-PROCAGICA - Análisis sobre los servicios de extensión y asistencia técnica para productores de café - Estudios de roya - Sistemas experto para tomar decisiones para la roya - Mapeo de la red institucional de SAT-Nicaragua 	<p>Apoyo a agenda: CATIE-PROCAGICA-IICA-UE, IICA-PROCAGICA-UE (Nicaragua), INTA, CIRAD</p> <p>Otras organizaciones presentes: IPSA, MEFCCA, cooperativas de productores, UNAN, CATIE (Nicaragua)</p>
Taller plataforma nacional café (SINIA-CAFÉ) Coordinación CATIE-PROCAGICA-IICA-UE, INTA San Isidro, Matagalpa	15-03-2019	<ul style="list-style-type: none"> - Seguimiento plan de actividades de la plataforma SINIA-CAFE - Monitoreo de acciones en marcha - Seguimiento a la plataforma regional de la roya - Avances en sistema regional de alerta temprana 	<p>Apoyo a agenda: CATIE-PROCAGICA-IICA-UE, IICA-PROCAGICA-UE (Nicaragua), INTA, CIRAD</p> <p>Otras organizaciones presentes: Universidades (UNAN, UNN, UCATSE), CRS, Coordinación Nacional Comercio Justo, organizaciones de productores (CECOCAFEN, UCA-SOPPEXCCA), IPSA, INETER, MEFCCA, INATEC, CATIE (Nicaragua)</p>

Eventos/actividad	Fecha	Temas considerados	Observaciones
Participación en taller regional con plataformas nacionales y regional NAMA-café Ciudad Guatemala, Guatemala	2 y 3-09-2019	- Presentación avances del tema café y clima en Nicaragua - Temas de 2 a 11 indicados anteriormente en sesión de El Salvador	Apoyo a agenda: ANACAFE, CATIE-PROCAGICA-IICA-UE, PROMECAFE, CEPAL, ICAFE, IHCAFE, Fundación Neumann, IPSA, CSC, INDOCAFE Participación plataforma nacional Nicaragua: IPSPA Otras organizaciones: MARN, USAC, IICA, MAG (Costa Rica), Ase, MAGA (Guatemala), IICA, Universidad de Texas, CATIE-El Salvador y Guatemala

La lista de temas desarrollados en las plataformas nacionales de investigación, transferencia tecnológica y fortalecimiento de capacidades es muy amplia. Sin

embargo, los temas más comunes y prioritarios fueron 16 (Cuadro 3), y cada uno de ellos se dividieron en diferentes subtemas de acuerdo a los intereses nacionales.

Cuadro 3. Temas de trabajo concertados en plataformas nacionales de investigación, transferencia y fortalecimiento de capacidades con aporte del Programa Centroamericano de Gestión Integral de la Roca (CATIE-PROCAGICA-IICA-UE y colaboradores)

Temas PROCAGICA	El Salvador	Guatemala	Honduras	Nicaragua	Costa Rica*	República Dominicana**
1. Fortalecimiento institucional						
2. Producción sostenible						
3. Renovación de cafetales						
4. Variedades mejoradas de café						
5. Propagación clonal						
6. Diversificación						
7. Alerta temprana						
8. MIP café						
9. Razas roya						
10. Manejo integral						
11. Diseño y manejo de sombra						
12. Mecanización de la sombra						
13. Cambio climático						
14. NAMA-café						
15. Género						
16. Capacitación- asistencia técnica						
17. Validación participativa de innovaciones						
18. Servicios ecosistémicos y biodiversidad						
19. Planes de resiliencia						
20. Tipologías de podas y su manejo						

*En Costa Rica el seguimiento fue vía acciones conjuntas con ICAFE, MAG, fundación Café Forestal y Fundecooperación/fondo de adaptación

**En República Dominicana las acciones se coordinaron con el Programa PROCAGICA-IICA-UE local

c) Plataforma regional de roya del café

Fortalecimiento de capacidades a través de talleres y seguimiento acuerdos

El programa CATIE-PROCAGICA-IICA-UE, en coordinación con PROMECAFE, CIRAD, IHCAFE y los demás institutos de café de la región, desarrolló el I taller de actualización de los avances de estudio de razas de roya (7 de mayo de 2018) y el I curso aplicado sobre métodos de apoyo para el estudio de razas y monitoreo de la roya (8 y 9 de mayo de 2018) (figuras 1 y 2). El curso fue impartido por el Dr. Laércio Zambolim de la Universidade Federal de Viçosa (Departamento de Fitopatología-UFV, Brasil). En dichos eventos participaron técnicos e investigadores de las instituciones de café

de México, Jamaica, República Dominicana, Guatemala, Honduras, El Salvador, Nicaragua, Costa Rica y Panamá. El objetivo fue conocer el estado actual de las razas de roya, resistencia de materiales y la colaboración potencial y/o sinergias institucionales en los países participantes de PROMECAFE. Durante el curso se realizó un análisis de los antecedentes y situación actual sobre la pérdida de resistencia de variedades y surgimiento de nuevas razas, así como la base conceptual sobre el tema. Se compartieron metodologías de aplicación en laboratorio para la determinación de razas de roya, con prácticas incluidas. Además, se definieron las bases de una estrategia regional de apoyo al mejoramiento genético de materiales resistentes y al monitoreo de razas de roya a partir de la colaboración interinstitucional regional.



Figura 1. Participantes curso sobre métodos de apoyo para el estudio de razas y monitoreo de la roya, mayo de 2018, Honduras. Foto: B. Medina



Figura 2. Práctica de laboratorio en el Instituto Hondureño del Café sobre procedimientos para estudio y monitoreo de razas de roya, mayo de 2018, Honduras. Fotos: E. de M. Virgínio Filho

ACUERDOS DE SEGUIMIENTO

1. Cada representante de país da seguimiento, dentro de su institución, a los acuerdos establecidos; también participa en eventos de la plataforma de roya.
2. Se establecen y/o fortalecen los monitoreos de campo en cada país, evaluando preventivamente los materiales resistentes/tolerantes.
3. Cuando se detecta la esporulación y ataque de roya, se coordinan protocolos y el seguimiento con el profesor Zambolim para la identificación de razas.
4. Cada país representado selecciona los materiales genéticos (variedades) resistentes que están liberados comercialmente y, en coordinación con el PROMECAFE y el CATIE, envía los materiales de acuerdo a protocolos de envío de semillas y la identificación de posibles razas de roya a la Universidade Federal de Viçosa.
5. El Dr. Zambolim libera y autoriza la utilización de los materiales de híbridos de Timor (160) que están en el IHCAFE, a los países. PROMECAFE e IHCAFE dan seguimiento a la formalización de este proceso entre países de la región. El Dr. Zambolim liberó el material genético para que cada país promueva el mejoramiento genético.
6. La colección internacional de café del CATIE posee un potencial alto para apoyar tanto el mejoramiento genético como la utilización de plantas indicadoras de razas de roya. Con el apoyo de los especialistas involucrados, se analizó y clasificó la lista de variedades de café del CATIE y las plantas de materiales indicadores de razas de roya con base en la lista original de CIFIC. El CATIE, en el marco de PROCAGICA, conjuntamente con PROMECAFE y los institutos de café interesados coordinan los procesos de rescate y envío de plantas de variedades de interés.
7. Aunque la temática de análisis molecular es compleja, se busca el apoyo de PROMECAFE para elaborar una propuesta de análisis molecular de plantas indicadoras, elaborando una hoja de ruta que identifique colaboradores claves y puntos focales en los institutos de café de la región. El Dr. Zambolim apoya orientando la definición de protocolos que se realicen en cada proceso. Costa Rica prevé la posibilidad de realizar análisis moleculares de variedades para la diferenciación genética de materiales en sus laboratorios.
8. Hay interés por parte de los países en el intercambio de los materiales Catigua y Obata, introducidos y evaluados por el ICAFE en Costa Rica. La identificación del material genético de los países es clave; cada país debe conocer los materiales genéricos y trabajar con ellos.
9. Se acordó la organización de un segundo evento en República Dominicana en noviembre de 2019, para dar seguimiento a estos procesos a partir de la colaboración entre PROMECAFE, PROCAGICA, CIRAD y CATIE e institutos de café de la región.

TALLERES A TRAVÉS DE VIDEOCONFERENCIAS

Para dar seguimiento a los acuerdos y compromisos, se establecieron varios talleres virtuales para los cuales se envió la agenda y la ayuda memoria anterior con los acuerdos de seguimiento establecidos. En el Cuadro 4 se describen las reuniones y talleres realizados.

Cuadro 4. Eventos y participantes por países en el marco de la plataforma regional de la roya, Centroamérica

No de evento	Fecha	Lugar	Países participantes	Número de participantes
Taller diagnóstico	7 de mayo 2018	Santa Bárbara, Honduras	9	30
Curso de razas de roya	8 y 9 de mayo 2018	Santa Bárbara, Honduras	9	35
1er taller virtual	31 de mayo 2018	Virtual	5	21
2do taller virtual	30 de agosto 2018	Virtual	5	21
3er taller virtual	08 de octubre 2018	Virtual	7	22
4to taller virtual	10 de diciembre 2018	Virtual	4	14
5to taller virtual	30 de julio 2019	Virtual	5	19
Reunión presencial	06 de septiembre 2019	Cuidad de Guatemala, Guatemala	5	10
Reunión virtual	15 de octubre 2019	Virtual	7	11
Taller "Estado y estrategias futuras sobre roya y sus razas"	27 noviembre de 2019	Punta Cana, República Dominicana	11	33
Curso "Métodos para el estudio de razas de roya"	28 y 29 de noviembre de 2019	Santo Domingo, República Dominicana	10	38
Reunión virtual	28 de mayo de 2020	Virtual	5	8
6to taller virtual	17 noviembre 2020	Virtual	7	15
Reunión virtual	11 marzo 2021	Virtual		
7mo taller virtual	26 de marzo 2021	Virtual	8	25

Durante las videoconferencias, los países compartieron experiencias sobre los sistemas de monitoreo, tanto con variedades de café susceptibles a la roya como con las variedades resistentes e informaron de los últimos

avances en la determinación de razas. En el Cuadro 5 se describe la información del diagnóstico de línea de base por país de las razas de roya.

Cuadro 5. Diagnóstico regional preliminar: estado actual razas y resistencia de variedades en nueve países de Latinoamérica y el Caribe

Países	Sistema de monitoreo de variedades susceptibles	Sistema de monitoreo de variedades resistentes	Sistema de alerta temprana (SAT)	Razas de roya conocidas actualmente	Estudios en marcha
Guatemala	SÍ	SÍ	SÍ	XXV, XXVIII, (2014)	En espera de resultados de material enviado a UFV
Honduras	SÍ	SÍ	SÍ	I, II, (1997-2002); XVI, XXIII, XXIV, XXXVIII	7 más en proceso de identificación (IHCAFE-UFV) apoyó CATIE-PROCAGICA Alta capacidad de desarrollo de estudio de razas tesis de Deras – UFV (18 nuevas razas)
Costa Rica	SÍ	SÍ	SÍ	II (1984), XXXVI, XXIV (2013)	En 2017 se envió a CIFC nuevas muestras para caracterización
El Salvador	SÍ	SÍ	SÍ	I y II (1980)	Profesor Zambolim está haciendo una caracterización para actualizar el conocimiento. En noviembre 2018 recolectó muestras
Nicaragua	SÍ	Se inició en el 2019	SÍ	II (1994)	Colecta e identificación de variedades y cafetos tolerantes a la roya. Se ha firmado convenio CATIE-PROCAGICA con INTA
Panamá	SÍ	Está en propuesta	En Chiriquí	No hay reportes formales	
República Dominicana	SÍ	Se iniciará en el 2019	SÍ	II (sin reportes formales)	Se enviaron muestras para la Universidad de Nebraska. -INDOCAFE en colaboración con CATIE-PROCAGICA ha establecido su laboratorio de roya
Jamaica	NO	Se desconoce	NO	No hay reportes formales	
México	SÍ	Se desconoce	SÍ	SÍ	

Fuente: CATIE-PROCAGICA-IICA-UE-INDOCAFE-PROMECAFE (2019)

Luego de intensos procesos desarrollados entre el año 2018 y el 2021, bajo la coordinación de CATIE-PROCAGICA-IICA, se concluyó el estudio regional de razas de roya con el apoyo del fitopatólogo Laércio Zambolim (UFV, Brasil) y la colaboración de las

instituciones cafetaleras involucradas. Los resultados fueron presentados en un taller en el marco de la plataforma regional de roya de PROMECAFE, el 26 de marzo de 2021 (Cuadro 6).

Cuadro 6. Razas de *Hemileia vastatrix* identificadas en el continente americano

País	Razas	Autor
Brazil	I, II, III, X, XIII, XV, XVI, XVII, XXII, XXIII, XXIV, XXV, XXIX; XXX; XXXIII; XXXVII	Chaves & Pereira (1980); Cardoso <i>et al.</i> (1986, 1988); Zambolim <i>et al.</i> (2005); Fazuoli <i>et al.</i> (2005); Cabral <i>et al.</i> (2009); Toma Braghini <i>et al.</i> (2011) Capucho <i>et al.</i> (2012) Silva; Zambolim; Caixeta (2019)
Brazil	I, II, III (<i>Coffea canephora</i>)	Zambolim (2018-20) *
Guatemala	I, II, III, XXIII, XXV	Zambolim y Chocooj (2018-20) *
Honduras	I, II, III, XIV, XX, XXII, XXXVI	Zambolim y Veras (2018-20)*
Costa Rica	II, XXII, XXIX, XXXIII	Zambolim (2018-20) *
El Salvador	I, II, III	Zambolim (2018-20) *
Nicaragua	I, II	Zambolim (2018-20) *
Panamá	I, II	Zambolim (2018-20) *
México	I, II, III	Zambolim (2018-20) *
Venezuela	I, II, III, X, XV, XVI, XXIV, XXXIII	Zambolim y Ramirez (2018-20) *
Dominican Republic	I, II, III, XXXIII	Zambolim y Quisqueya (2018-20) *

Fuente: Zambolim (2020)

DISCUSIÓN

Las variedades mejoradas y, en particular los híbridos F1, representan una de las principales alternativas frente a los problemas generados por la roya, el cambio climático y el ingreso a los mercados de cafés finos de alta calidad. Pero existen evidencias de rompimiento de resistencia horizontal en las variedades de híbridos de Timor (catimores), confirmadas por el IHCAFE e ICAFE para los casos de las variedades Lempira y Costa Rica 95, respectivamente, y confirmadas por ANACAFE, Guatemala. El patógeno *H. vastatrix* tiene gran capacidad para evolucionar y adaptarse a la resistencia genética presente en las variedades de café. Por mutación, aparecen nuevos genes de virulencia y la combinación de estos permite la aparición de nuevas razas contra las cuales las variedades ya no son resistentes.

Es importante, tal como lo indica Solano *et al.* (2019) “evaluar la resistencia horizontal de los materiales cuya resistencia vertical ha sido superada y desarrollar nuevos materiales con ambos tipos de resistencia para asegurar durabilidad a la resistencia; muestrear en el tiempo y el espacio roya en fincas donde se reportan híbridos y variedades que ahora son susceptibles para determinar las razas y decidir las estrategias de selección y despliegue de materiales según las razas presentes; llevar a cabo investigaciones más detalladas en los países de la región para determinar la relación entre nutrición del suelo y roya y continuar con la determinación de la interacción entre sombra y nutrición sobre la incidencia y severidad de las nuevas razas y sus enemigos naturales.”

CONCLUSIONES

Plataformas (PROMECAFE, nacionales y regional de la roya):

1. Las plataformas mantienen los mecanismos vigentes de coordinación y comunicación a través de enlaces de cada institución que fueron capacitados en el taller de roya, talleres iniciales de plataformas de investigación y transferencia tecnológica y dan seguimiento a los acuerdos técnicos de colaboración. La dinámica en cada país es distinta en función del nivel de los vínculos interinstitucionales establecidos con los entes encargados de la caficultura y con la estabilidad de los planes nacionales dedicados a este cultivo.

Plataforma regional de la roya:

2. Se mantiene el monitoreo continuo en campo sobre la incidencia en variedades susceptibles y resistentes/tolerantes por parte de los países; los informes son presentados en las reuniones virtuales de manera bimensual.
3. Conociendo que la resistencia a la roya no es permanente y aun cuando un material pierde resistencia, sigue siendo de gran utilidad para el control de la roya ya que posee mayor productividad y respuesta a manejos fitosanitarios (ejemplo Lempira y Costa Rica 95).
4. Es evidente que hay limitantes en la identificación de los materiales en campo por lo que es muy importante garantizar trazabilidad de semillas y plantas.
5. El manejo integral de los cafetales sigue siendo clave para hacer frente a la roya y otras enfermedades, por lo que los productores deben enfocarse en lo que sí pueden gestionar, la productividad, el manejo de tejido productivo, podas, nutrición y sombra, entre otros. La plantación de café y su manejo es el principal activo y su gestión integral es clave.
6. Se ha iniciado la revisión de la colección de café del CATIE para valorar el potencial de plantas indicadoras de razas de roya, así como el apoyo al mejoramiento genético en la región, buscando materiales resistentes a la roya con alta productividad, rusticidad y calidad.

RECOMENDACIONES

1. Promover la consolidación de la plataforma regional de la roya y las plataformas nacionales de investigación y transferencia tecnológica en colaboración con PROMECAFE, fortaleciendo tanto la colaboración en la región como el apoyo a las acciones en cada país.

2. Continuar fomentando el vínculo de comunicación e información de la plataforma regional de roya, manteniendo las reuniones virtuales de manera mensual o bimensual, así como realizando talleres presenciales.
3. Gestionar con PROMECAFE el proyecto de apoyo al análisis molecular en el marco del estudio de razas de roya.
4. Dar seguimiento al IHCAFE respecto a comparar material de híbridos Timor con los países de PROMECAFE.
5. Dar seguimiento al ICAFE respecto al posible intercambio de Catigua y Obata con los países de interesados.
6. Mantener la colaboración con la colección internacional de café del CATIE a fin de mantener el flujo de material potencial para la investigación y el mejoramiento genético.
7. Mantener los programas de capacitación de manera continua, informando a productores sobre la posible pérdida de la resistencia vertical de algunos materiales y las estrategias de implementación de manejo integral.

BIBLIOGRAFÍA

- CATIE-PROCAGICA-IICA (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, Programa Centroamericano de Gestión Integral de la Roya del Café, Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura). 2018. Memoria del Taller de Avances Estudio de Razas de Roya en los Países de PROMECAFE IHCAFE. Santa Bárbara, Honduras. 07 de mayo de 2018.
- CATIE-PROCAGICA-IICA-UE-INDOCAFE-PROMECAFE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, Programa Centroamericano de Gestión Integral de la Roya del Café, Instituto Dominicano del Café, Programa Cooperativo Regional para el Desarrollo Tecnológico y Modernización de la Caficultura). 2019. Estado actual y estrategias futuras sobre la vigilancia, el monitoreo de la roya y sus razas en variedades resistente y tolerantes. Curso métodos de apoyo para el estudio de razas de roya y estrategias para mitigar el avance e impacto en los sistemas cafetaleros. Memoria de taller, Punta Cana, República Dominicana. 26 al 28 de noviembre, 2019.
- Solano, W; Dessauw, D; Cerda, R; Virgínio Filho, E.deM; Somarriba, E; Avelino, J. 2019. Híbridos F1 de café, resistencia a la roya y estrategias a futuro. s. l, CATIE. (Comunicación técnica).
- Virgínio Filho, E.de M; Astorga, C. 2015. Prevención y control de la roya del café. Manual de buenas prácticas para técnicos y facilitadores. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 96 p. (Serie técnica. Manual técnico no. 131).
- Zambolim, L. 2020. Documento técnico descriptivo de la metodología del estudio de razas de roya (*Hemileia vastatrix*) en América Central y Caribe. Turrialba, Costa Rica, CATIE-PROCAGICA-IICA-UE. (Documento sin publicar).

Reseñas de resultados del proyecto

El estado de las NAMA-café y lineamientos regionales para iniciativas sobre café y clima en América Central, República Dominicana y México

Elias de Melo Virginio Filho¹, Bayron Medina², René León Gómez³, Víctor Vargas⁴, Gabriela Jiménez⁵, Julie Lennox⁶, Mariela Meléndez⁷, Mario E. Chocoj⁸

RESUMEN

El café es un cultivo clave, no sólo por su dinámica agroforestal dentro del paisaje centroamericano, sino también por su importancia en el desarrollo económico, social y cultural. No obstante, su producción y las familias que dependen de él, enfrentan múltiples y exacerbadas amenazas por los cambios del clima ocasionados por el incremento de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) en la atmósfera. El análisis de los impactos de los escenarios climáticos sobre el café estima que las áreas idóneas para el cultivo se reducirán considerablemente en casi toda la región. Al mismo tiempo, existen oportunidades para una adaptación sistémica y transformadora en las cadenas de valor del café, que podrán tener co-beneficios en la reducción de las emisiones de los gases de efecto invernadero (GEI).

En la COP21 se lanzó el Acuerdo de París (AP), que establece un marco global para reforzar la acción en materia de cambio climático a partir de 2020. Se trata de un acuerdo histórico que promueve una transición hacia una economía baja en emisiones, resiliente y adaptada al cambio climático. Frente a este Acuerdo, los países de la región del Sistema de la Integración Centroamericana (SICA) han presentado sus compromisos o contribuciones nacionalmente determinadas (CND), para aportar a la meta global de mantener el alza de temperatura debajo de los dos grados y en lo posible debajo de un grado Celsius.

En este marco, las acciones de mitigación nacionalmente apropiadas (NAMA, por sus siglas en inglés) en el sector cafetalero constituyen una oportunidad para mantener una caficultura comprometida con el ambiente y la calidad que genera ventajas por su aporte a la mitigación del calentamiento global, además de co-beneficios y medidas adicionales para la adaptación sostenible e incluyente y reducción de costos de producción con la aplicación de buenas prácticas agrícolas y nuevas tecnologías, lo cual puede ofrecer oportunidades para atender la demanda de ciertos mercados diferenciados, como demuestran las experiencias de Costa Rica y otros países. Al mismo tiempo, existen diversos cuellos de botella que se deben resolver.

En 2019 se estableció una comunidad de práctica de mitigación y adaptación café y clima de la región Centroamérica, cuyos miembros iniciales se reunieron en Ciudad de Guatemala; este artículo resume las lecciones aprendidas. En septiembre 2019 existían 303 NAMA agrícolas en la plataforma de la Convención Marco de Las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), de las cuales 35 estaban en su fase de estudio de factibilidad (nota de concepto), 245 en la fase de desarrollo de su propuesta y 23 siendo implementados. Del total de NAMA, 24 son de países del SICA. Hay tres NAMA café registradas, la de Costa Rica es la de mayor renombre por ser la primera registrada a nivel mundial. Las otras dos son la de República Dominicana y Rwanda que estaban buscando apoyo para su preparación. Honduras estaba preparando su propuesta y en negociación con varias fuentes de financiamiento.

Los principales organismos identificados que financian las NAMA fueron: BCIE-NAMA/Facility, Green Climate Fund, GEF, GIZ, EUROCLIMA, KfW, IKI, FIDA, BID. Se considera que los mecanismos de financiamiento deben estar ajustados para atender en conjunto la demanda del sector café, con énfasis en los pequeños y medianos productores. Se sugiere que el sector privado sea considerado y potenciar fondos nacionales existentes vinculados a clima.

El contar con un espacio para la coordinación regional de las NAMA proporciona beneficios; la curva de aprendizaje es compleja si cada país emprende este esfuerzo aislado. Los países del SICA tienen cierta imagen e institucionalidad regional que es necesario potenciar. Además, se debe dar seguimiento o integrar temas complementarios de adaptación, el fortalecimiento de la cadena de valor en beneficio de la agricultura sostenible adaptada al clima y de los pequeños productores y sus organizaciones a temas comerciales de este “commodity”, como su huella ambiental y las diversas certificaciones.

Palabras clave: Mitigación, adaptación, sostenibilidad, colaboración regional.

1 CATIE-PROCAGICA-IICA-UE, Costa Rica; eliasdem@catie.ac.cr

2 CATIE-PROCAGICA-IICA-UE, Guatemala

3 PROMECAFE-Programa Cooperativo Regional para el Desarrollo Tecnológico y Modernización de la Caficultura, Guatemala

4 ICAFE-Instituto del Café de Costa Rica, Costa Rica

5 IHCAFE-Instituto Hondureño del Café, Honduras

6 CEPAL-Comisión Económica para América Latina y el Caribe, México

7 ANACAFE-Asociación Nacional del Café, Guatemala

8 ANACAFE, Guatemala

ABSTRACT

Coffee is a key crop, not only because of its agroforestry dynamics within the Central American landscape, but also because of its importance in economic, social and cultural development. However, its production and the families that depend on it face multiple and exacerbated threats from climate change caused by the increase in greenhouse gas (GHG) emissions in the atmosphere. The analysis of the impacts of the climatic scenarios on coffee estimates that the ideal areas for cultivation will be considerably reduced in almost the entire region. At the same time, there are opportunities for systemic and transformative adaptation in coffee value chains, which may have co-benefits in reducing greenhouse gas (GHG) emissions.

At COP21, the Paris Agreement (PA) was launched, which establishes a global framework to reinforce action on climate change as of 2020. It is a historic agreement that promotes a transition towards a low-emission, resilient economy and adapted to climate change. Faced with this Agreement, the countries of the Central American Integration System (SICA) region have presented their commitments or nationally determined contributions (CND), to contribute to the global goal of keeping the temperature rise below two degrees and as low as possible below one degree Celsius.

In this framework, nationally appropriate mitigation actions (NAMA) in the coffee sector constitute an opportunity to maintain a coffee growing committed to the environment and quality that generates advantages for its contribution to the mitigation of global warming, in addition to co-benefits and additional measures for sustainable and inclusive adaptation and reduction of production costs with the application of good agricultural practices and new technologies, which may offer opportunities to meet the demand of certain differentiated markets, as demonstrated by the experiences of Costa Rica and other countries. At the same time, there are a number of bottlenecks that must be resolved.

In 2019, a community of practice for mitigation and adaptation of coffee and climate in the Central American region was established, whose initial members met in Guatemala City; this article summarizes the lessons learned. In September 2019 there were 303 agricultural NAMA on the platform of the United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC), of which 35 were in their feasibility study phase (concept note), 245 in the development phase of your proposal and 23 being implemented. Of the total NAMA, 24 are from SICA countries. There are three registered coffee NAMA, the one from Costa Rica is the most renowned for being the first registered worldwide. The other two are from the Dominican Republic and Rwanda who were seeking support for their preparation. Honduras was preparing its proposal and in negotiation with various funding sources.

The main organizations identified that finance NAMA were: CABEI-NAMA/Facility, Green Climate Fund, GEF, GIZ, EUROCLIMA, KFW, IKI, FIDA, and BID. It is considered that the financing mechanisms should be adjusted to meet the demand of the coffee sector as a whole, with an emphasis on small and medium producers. It is suggested that the private sector be considered and leverage existing national funds related to climate.

Having a space for regional NAMA coordination provides benefits; the learning curve is complex if each country undertakes this effort in isolation. SICA countries have a certain image and regional institutions that must be strengthened. In addition, complementary adaptation issues must be monitored or integrated, strengthening the value chain for the benefit of sustainable agriculture adapted to the climate and small producers and their organizations to commercial issues of this “commodity”, such as its environmental footprint, and the various certifications.

Keywords: Mitigation, adaptation, sustainability, regional collaboration.

INTRODUCCIÓN

El café es uno de los productos tropicales más importantes del mundo, alcanzando el segundo “commodity” más importante, después del petróleo. En los últimos 20 años, la demanda de café ha aumentado en más del 50 por ciento, con exportaciones de café verde que generan ingresos de USD20 mil millones anuales. Hoy, alrededor de 25 millones de hogares agrícolas en más de 50 países, dependen de la producción de café, y se generan empleos indirectos y oportunidades económicas a lo largo de la cadena de valor por más USD 200 mil millones anuales (OIC 2019).

El cambio climático se caracteriza por tendencias de aumento de temperatura y fenómenos meteorológicos extremos, como lluvias y vientos fuertes e inoportunos, así como por estaciones secas prolongadas o más intensas.

Estos riesgos climáticos tienen impactos negativos en los caficultores a través de rendimientos reducidos, brotes de plagas, enfermedades y erosión del suelo, entre otras consecuencias. Los escenarios climáticos para café estiman que las áreas idóneas para la producción de este cultivo en Centroamérica se reducirán considerablemente, y se requiere un esfuerzo importante para la adaptación sistémica y transformadora. Afortunadamente, este sector tiene un gran potencial de respuesta a través de medidas coordinadas de mitigación y adaptación para mantener la productividad del cultivo, los ingresos y el bienestar de los productores y sus familias. (Läderach *et al.* 2012a; Läderach *et al.* 2012b; Läderach *et al.* 2012c; Läderach *et al.* 2012d; CEPAL y CAC/SICA 2014; CEPAL *et al.* 2018; Bunn *et al.* 2019).

El concepto de acciones de mitigación nacionalmente apropiadas (NAMA), se desarrolló a través de negociaciones internacionales bajo la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMNUCC). Mencionadas por primera vez en la COP13 en 2007. Las NAMA son medidas voluntarias de mitigación del cambio climático por parte de economías emergentes y países en desarrollo a ser incluidas en sus planes nacionales de desarrollo. Al llevar a los países hacia una trayectoria de desarrollo con bajas emisiones de carbono, las NAMA tienen el potencial de contribuir de manera significativa a los esfuerzos mundiales para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI).

Las actividades asociadas a la caficultura generan un porcentaje importante de las emisiones GEI agropecuarias en numerosos países en desarrollo. Las acciones para reducir las emisiones netas de GEI en el sector agrícola, pecuario y otros usos de la tierra, brindan oportunidades valiosas para fundamentar y aumentar las sinergias con actividades relacionadas a la mejora de la eficiencia integral en la producción y la cadena de valor, la adaptación al cambio climático, la seguridad alimentaria y el desarrollo rural. Para ser candidata a financiamiento, una propuesta NAMA debe demostrar eficacia en las acciones propuestas, sostenibilidad desde el punto de vista socioeconómico y ambiental e ir acompañada de planes operacionales y financieros sólidos (Avagyan *et al.* 2015).

Cada uno de los países de la región ha buscado alternativas para aplicar a estas iniciativas. La iniciativa insignia a nivel mundial ha sido la NAMA-café de Costa Rica, la cual ha servido como experiencia de referencia en la región. En los últimos años, las instituciones cafetaleras de países productores han estado explorando opciones y/o avanzando en programas de respuesta al cambio climático y de los demás retos que enfrenta el sector. Así, se consideró oportuno compartir avances y hacer recomendaciones a través de un taller para generar lineamientos de acciones regionales, el cual fue coordinado por el Programa Cooperativo Regional para el Desarrollo Tecnológico y Modernización de la Caficultura (PROMECAFE), con el apoyo del Programa de Gestión Integral de la Roca del Café (PROCAGICA). Los detalles se indican en el siguiente artículo.

OBJETIVO

Conocer el estado de las NAMA-café y los lineamientos de acciones regionales para iniciativas sobre café y clima en América Central, República Dominicana y México.

METODOLOGÍA

Con la finalidad de establecer los primeros vínculos e identificar avances en países de la región respecto a las NAMA, se conformó un comité técnico asesor con representantes de organizaciones de café y líderes en la temática, entre ellos: PROMECAFE, los institutos de café de Costa Rica (ICAFE), Honduras (IHCAFE), la Asociación Nacional de Café de Guatemala (ANACAFE) y el Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). Este comité, a través de reuniones previas, definió la realización de un taller presencial con representantes designados de cada uno de los países.

Para tal fin se realizó una convocatoria para las asociaciones de café de los países del Sistema de la Integración Centroamericana (SICA) y México, en el marco del taller regional NAMA-café, organizado por el CATIE, PROMECAFE, ICAFE, IHCAFE y ANACAFE, con el apoyo del PROCAGICA, del Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA) y la Unión Europea (UE).

El taller fue realizado los días 2 y 3 septiembre de 2019 en las instalaciones de ANACAFE en Guatemala. Los objetivos fueron conocer los avances de las diferentes acciones de NAMA-café en los países del área y explorar la factibilidad de una propuesta regional que promoviera un proyecto NAMA a escala regional y otros mecanismos de cooperación intrarregional. Luego del taller y para el seguimiento de estas iniciativas, se conformó un grupo de *WhatsApp* el cual, a la fecha, mantiene un intercambio dinámico donde se continúa promoviendo la información con documentos, propuestas, seminarios e iniciativas de proyectos, entre otros.

RESULTADOS

Bases conceptuales de las NAMA y fases de su consolidación

Las primeras conferencias ofrecieron un análisis del contexto en el cual se desarrollan las NAMA, se consolidaron conceptos y se enumeraron las diferentes fases para su desarrollo, las cuales se enumeran a continuación.

Acciones de mitigación nacionalmente apropiadas (NAMA)

Las NAMA son acciones voluntarias realizadas en los países en desarrollo para reducir emisiones de GEI (Figura 1), que deben estar alineadas con políticas nacionales y sectoriales y generar beneficios en el contexto

de un desarrollo sustentable, el cual debe ser medible, reportable y verificable, y soportadas por financiamiento, tecnología y desarrollo de capacidades. Pueden ser la base para alcanzar los objetivos de las contribuciones determinadas a nivel nacional (CDN), que fueron presentadas en el marco del Acuerdo de París en la COP21 en 2015, dentro de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), con el fin de transformar trayectorias de modo que encaminen al mundo hacia un desarrollo sostenible y limitar el calentamiento entre 1,5 a 2 grados C por encima de los niveles preindustriales (Avagyan *et al.* 2015).

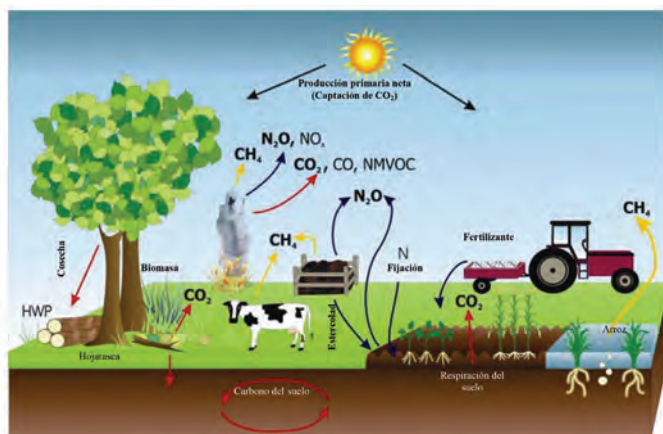


Figura 1. Agroecosistemas y fuentes de emisiones de gases efecto invernadero (GEI)

Fuente: IPCC (2006)

Las “partes” (los países) aplicarán medidas nacionales de mitigación con el objetivo de lograr tales contribuciones. Cada plan climático nacional debe reflejar la propuesta

del país para reducir las emisiones, teniendo en cuenta sus circunstancias y capacidades nacionales. El Acuerdo de París solicita a cada país que describa y comunique sus acciones climáticas posteriores a 2020, conocidas como sus contribuciones nacionalmente determinadas (CDN o NDC, por sus siglas en inglés). Los proyectos de apoyo a la NAMA (NSP, por sus siglas en inglés) se seleccionan en convocatorias anuales, donde se proporcionan fondos para una combinación de recursos financieros y medidas técnicas que deberán implementarse en un periodo de 3-5 años, con un presupuesto de financiación de entre 5 a 20 millones de euros. No existe un enfoque regional o sectorial, pero los requisitos clave para la selección de proyectos se basan en la disponibilidad de implementación, el potencial de mitigación a implementarse, así como en el cambio transformacional propuesto. Se requiere que cada parte prepare, comunique y mantenga CDN sucesivas. Para abril de 2016, un total de 190 países habían realizado una comunicación prevista CND (97% de todas las partes en la CMNUCC), con una cobertura total de CO₂ del 94,6%.

Etapas del desarrollo de una NAMA

La NAMA requiere el diseño y la implementación de múltiples componentes que vinculan a la esfera política y las instituciones públicas y privadas, hasta acciones concretas asociadas a cambios en las prácticas a nivel de finca y su cadena de valor (Figura 2). Se inicia con una idea de proyecto, que describe el objetivo principal de la NAMA, su relación con políticas nacionales de desarrollo, el potencial de mitigación, una línea base de emisiones con un escenario de implementación,

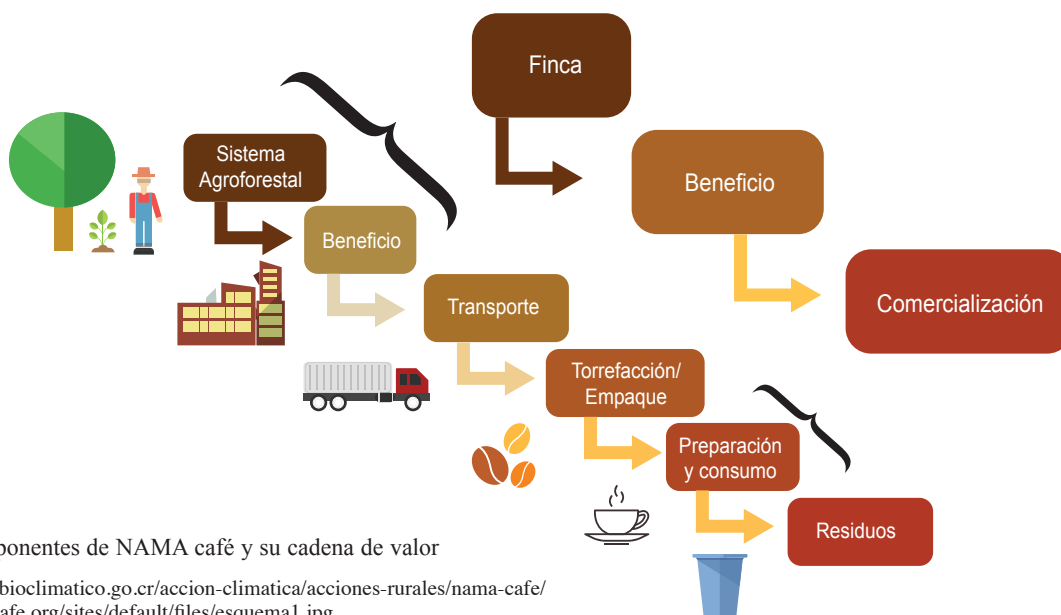


Figura 2. Componentes de NAMA café y su cadena de valor

Fuente: <https://cambioclimatico.go.cr/accion-climatica/acciones-rurales/nama-cafe/>
<https://www.namacafe.org/sites/default/files/esquema1.jpg>

los posibles co-beneficios, las responsabilidades de los actores involucrados, así como los costos y necesidades de financiamiento y, finalmente, el sistema de monitoreo, reporte y verificación (MRV), así como los riesgos y las barreras en los procesos de la cadena de valor (Avagyan *et al.* 2015).

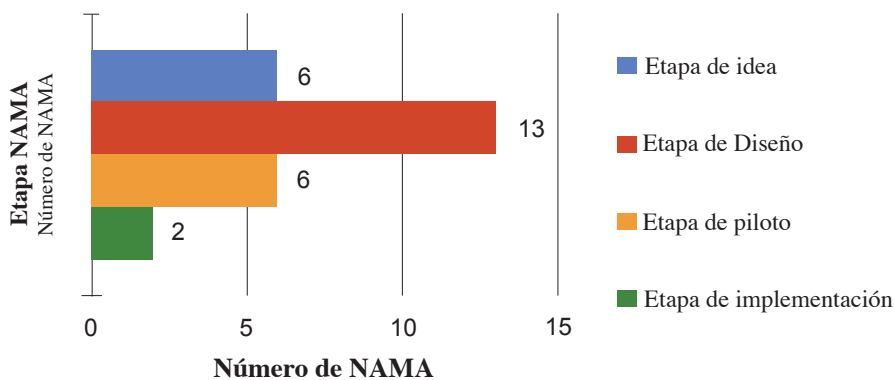
Posteriormente a su aprobación, se realiza la fase piloto con acciones de mitigación que permiten evaluar y ajustar la planeación de actividades, comprobando el impacto en reducción de emisiones y co-beneficios. Seguidamente se da la fase de implementación plena en la cual se ejecutan las acciones de mitigación, con procesos de evaluación, revisión, retroalimentación y correcciones, y se aplica el MRV en aquellas NAMA acreditables.

El registro de la NAMA se realiza en una plataforma en línea disponible al público, operada por la secretaría de la CMNUCC. En la COP 16 se estableció este

registro con el objetivo de obtener el reconocimiento de las mismas, así como buscar apoyo internacional en materia de financiamiento, desarrollo de tecnología y capacidades. La plataforma está disponible en este sitio web: <https://unfccc.int/topics/mitigation/workstreams/nationally-appropriate-mitigation-actions/nama-registry>

Tipología de proyectos NAMA. Una NAMA puede adoptar la forma de un programa institucional, de un cambio regulatorio, de un incentivo fiscal u otra medida encaminada a reducir emisiones de GEI. Puede abarcar temáticas desde el mejoramiento de la eficiencia energética y la ampliación de las energías renovables y limpias (biomasa, solar, mejoramiento energético de la leña, biocombustibles, entre otros), o medidas en el transporte, la silvicultura y agricultura, por ejemplo. En la Figura 3 se presenta la tipología y en la Figura 4 los tipos de actores y sectores de las NAMA de México.

Estado actual de las NAMAs registradas



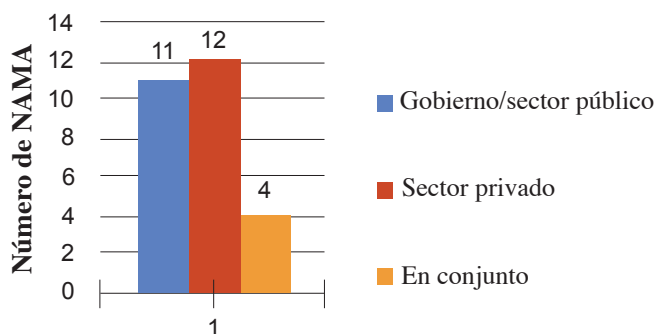
Estado de las NAMAs	No.
NAMA registradas nacionalmente	27
NAMA en proceso de registro nacional	1
NAMA mexicanas registradas internacionalmente	10
NAMA en proceso de registro internacional	1

Tipos de NAMA (sectorial/tecnológica)	No.
Sectorial	21
Tecnológica	6

Figura 3. Estado de las NAMA en México

Fuente: <https://www.gob.mx/inecc/acciones-y-programas/acciones-nacionalmente-apropiadas-de-mitigacion-namas>.

NAMA registradas



NAMA registradas

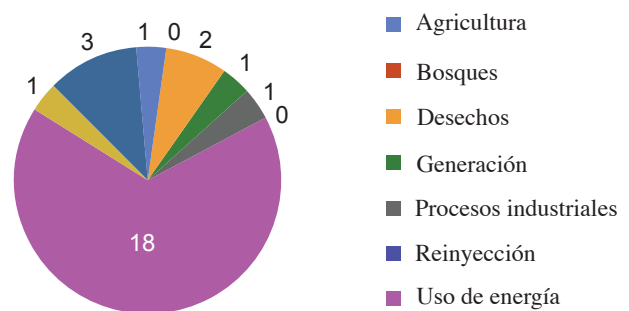


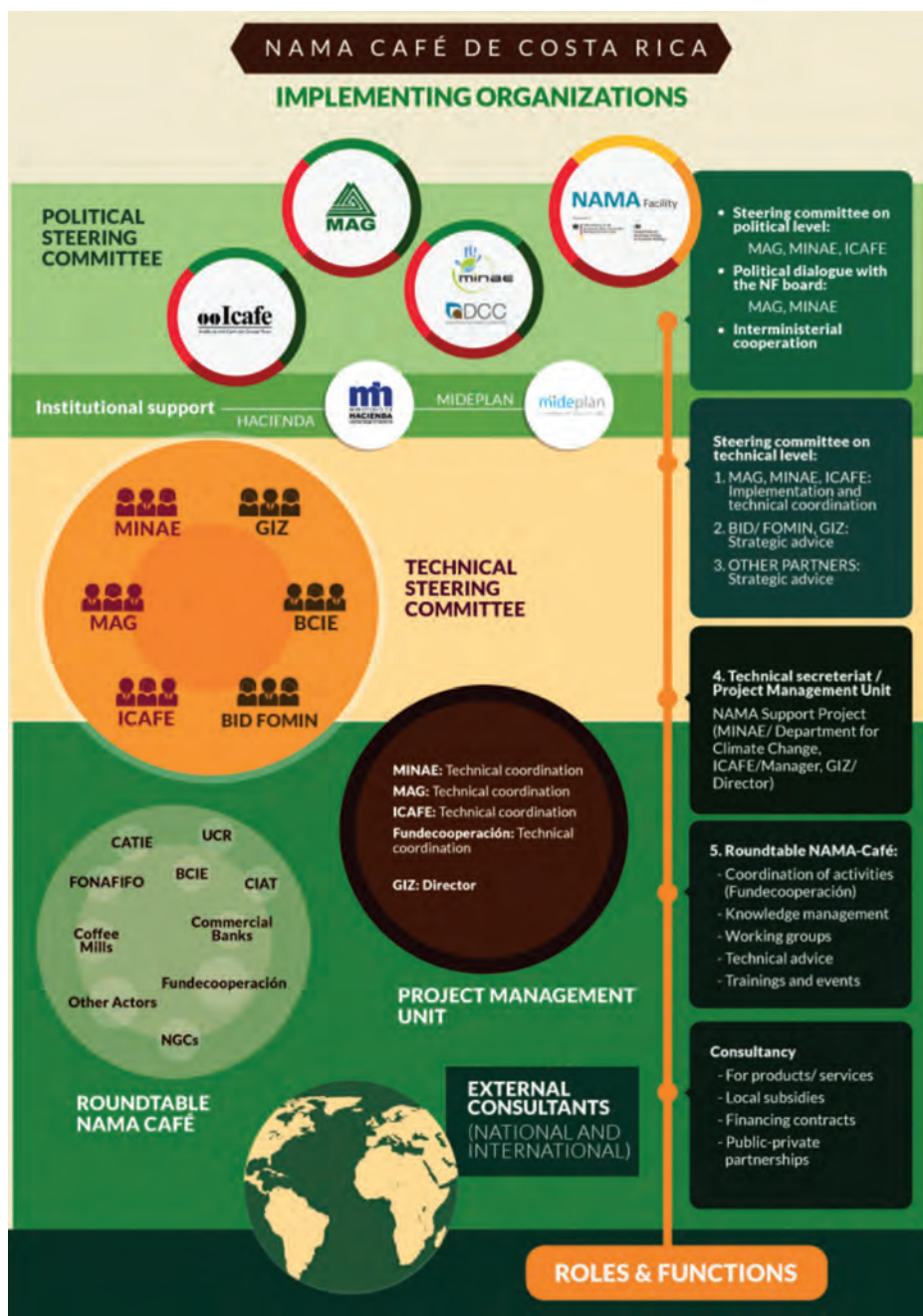
Figura 4. Tipo de actores y de sectores de las NAMA en México

Fuente: <https://www.gob.mx/inecc/acciones-y-programas/acciones-nacionalmente-apropiadas-de-mitigacion-namas>

Mecanismos de financiamiento. Las diferentes instituciones de financiamiento nacional e internacional, pública y privada, cuentan con distintos criterios relacionados con la financiación de las NAMA. No obstante, el carácter abierto y flexible de las mismas han dado lugar a tres tipos de medidas según su financiamiento: unilaterales (sin el apoyo de tercero); apoyadas con financiamiento, transferencia tecnológica y/o desarrollo de capacidades y acreditadas, donde las reducciones de emisiones son vendidas en un mercado de carbono. En la plataforma WEB de las NAMA se brinda información sobre proyectos aprobados que

buscan apoyo financiero para su implementación y proyectos con soporte y financiamiento; por ejemplo, si el proyecto cuenta con apoyo financiero a través de la “NAMA Facility” que se entrega principalmente en forma de subvenciones que sirven para movilizar fondos adicionales de fuentes públicas y privadas. Este fondo prevé un volumen de apoyo global de €-20 millones por proyecto de apoyo NAMA.

De acuerdo a la Figura 5, los elementos que lleva un proyecto NAMA que busca apoyo financiero para su implementación son los siguientes:



- A. Una visión general
- B. Entidad implementadora nacional
- C. Calendario previsto para la implementación de la acción de mitigación
- D. Moneda
- E. Costo
- F. Apoyo requerido para la implementación de la acción de mitigación
- G. Reducciones de emisiones estimadas
- H. Otros indicadores
- I. Otra información relevante
- J. Estrategias, planes y programas de políticas nacionales relevantes y / u otras medidas de mitigación
- K. Adjuntos
- L. Soporte recibido

Figura 5. Elementos necesarios en un proyecto NAMA que busca apoyo financiero para su implementación

Fuente: <http://www.namacafe.org/sites/default/files/esquema1.jpg>

<https://www4.unfccc.int/sites/publicnama/SitePages/Home.aspx>

Planes nacionales de adaptación

En el marco de la CMNUCC, además de los CDN y los NAMA, existen los planes nacionales de adaptación (NAP, por sus siglas en inglés), establecidos como una oportunidad para que los países definan acciones de adaptación sostenible frente al cambio climático. El Acuerdo de París ha pedido a los países que apliquen sus compromisos de adaptación en virtud de una evaluación quinquenal. Se propone que los NAP establezcan las acciones y estrategias de adaptación diseñadas para gestionar y reducir los riesgos que plantean los impactos negativos del cambio climático, de acuerdo a las prioridades identificadas y avances a nivel nacional, en áreas temáticas como agua, agricultura, pesca y acuicultura; bosques y salud (ONU 1992). Los NAP presentados a la CMNUCC pueden verificarse en la plataforma web: <https://www4.unfccc.int/sites/NAPC/Pages/national-adaptation-plans.aspx>.

Estado de los NAMA en Centroamérica

Hasta setiembre 2019, habían 303 NAMA agrícolas en la plataforma de la CMNUCC, de las cuales 35 estaban en su fase de estudio de factibilidad (nota de concepto), 245 en propuesta y 23 implementadas. De este total, 24 NAMA son de países del SICA. Hasta el momento hay tres NAMA café registradas, siendo la de Costa Rica la de mayor renombre por ser la primera registrada a nivel mundial. Las otras dos corresponden a las de República Dominicana y Rwanda, que estaban buscando apoyo para su preparación. Además, Honduras se encontraba preparando la suya en negociación con varias fuentes de financiamiento (Lennox 2019).

Costa Rica se convirtió en el primer país del mundo en inscribir una NAMA agrícola y al mismo tiempo, la primer NAMA-café, lo que le convirtió en una vitrina para fortalecer la imagen del grano en mercados diferenciados, construyendo un modelo de mitigación que puede replicarse u orientar esfuerzos en otros productos y otros países. Este NAMA contó con el apoyo técnico y financiero del BID-FOMIN y del proyecto de apoyo a la NAMA-café (NSP café), implementado por la Cooperación Alemana para el Desarrollo (GIZ), por encargo de la NAMA Facility, un fondo conjunto de los gobiernos de Alemania, el Reino Unido y la Comisión Europea (GIZ 2020).

Guatemala tiene un proyecto aprobado denominado “Uso eficiente de leña y combustibles alternativos en comunidades indígenas y rurales”.

Todos los proyectos NAMA de los países del SICA se enfocan en la mitigación, pero también pueden dar oportunidades para la adaptación y el fortalecimiento de la productividad ambientalmente sostenible (Lennox 2019). Durante el taller regional, realizado en septiembre de 2019 en Guatemala, el grupo de trabajo de PROMECAFE sobre café y clima revisó, con los representantes nacionales, el estado actual de la temática de NAMA. El Cuadro 1 describe, para cada país representado, el nivel en el que se encuentran los procesos, el estado de financiación y una síntesis de la información generada hasta la fecha.



Cuadro 1. Resumen actual de acciones NAMA en cinco países centroamericanos y República Dominicana

País	NAMA inscrita (Nama-Facility) (SI, NO)	Nivel de avance (preparación, desarrollo)	Financiamiento	Observaciones	Información de emisión de carbono	Información de captura de carbono	Información de vulnerabilidad y capacidad adaptativa
Costa Rica	Sí	D	BID-FOMIN preparación NAMA-Facility (GIZ) desarrollo contrapartida MAG-ICAFFE-MINAET	<ul style="list-style-type: none"> - Primera etapa de implementación completada - Están haciendo gestiones para extender NAMA - Sello con huella ambiental avanzado - Programa nacional de trazabilidad de sostenibilidad de la caficultura 	Sí	Sí (hay que actualizar)	Sí (cooperativa COOCAFFE)
Honduras	Sí	D	EUROCLIMA GEF Fondos contrapartida (IHCAFFE, fundación NEWMAN-café y clima) BCIE está elaborando propuesta para fondo verde	<ul style="list-style-type: none"> - Integrando diferentes iniciativas - Participación en proceso sello de huella ambiental 	Sí	Sí (hay investigaciones)	Sí (8000 fincas ya evaluadas)
Guatemala	No	Hay interés	No	<ul style="list-style-type: none"> - ANACAFE cuenta con una política ambiental y un programa de Implementación de Ambiente y Cambio Climático para el Sector Café de Guatemala - Además, existe marco de referencia para desarrollo de NAMA - Con BID-FOMIN se desarrolla una metodología para plan de mejora de unidades productivas para mitigación y adaptación (seguro eventos climáticos y terremoto asociado al crédito) - Ya hay NAMA ganadería inscrita - Sí existen fondos para desarrollo de temas relacionados - Participación en proceso sello de huella ambiental 	Sí	Sí (hay estimaciones y estudios antiguos que se deben actualizar)	Sí
República Dominicana	No	P	INDOCAFFE y CNCCMDL GIZ IICA CEPAL	<ul style="list-style-type: none"> - CEPAL y GIZ apoyan el desarrollo. ICAFFE-CR inició apoyo en 2018 - Es con enfoque NAMA-café + (con medidas de adaptación y fortalecimiento de la cadena de valor) - Se está coordinando con REED+ proyectos de conservación de paisajes productivos, acción para transparencia climática - Enfoque de cadena - Están preparando la línea de base para NAMA-café - Participación en proceso sello de huella ambiental 	No	Sí (inventario nacional pero todavía no está disponible)	No

País	NAMA inscrita (Nama-Facility) (SI, NO)	Nivel de avance (preparación, desarrollo)	Financiamiento	Observaciones	Información de emisión de carbono	Información de captura de carbono	Información de vulnerabilidad y capacidad adaptativa
El Salvador	No	En etapa de promover diálogo sobre el tema		- Existe el marco de referencia de NAMA (en preparación) NAMA energía ya tiene propuesta lista, NAMA caña. - El Consejo Salvadoreño de Café está integrado en mesas ambientales nacionales (seguimiento de productores y beneficios, están implementando prácticas, existen gestiones iniciales para sello de huella ambiental para café). - Existen gestiones de proyecto BID y BCIE para fondo verde para café - Ministerio de medio ambiente es el punto focal	No	Sí (hay que actualizar información)	No
Nicaragua	No	En etapa de promover diálogo sobre el tema	No	- Proyecto con FIDA para manejo de residuos y aguas mieles, promoción de sistemas agroforestales. Existen programas de gobierno con siembra de árboles en café - Existe una ley de agroecología - IICA está preparando una propuesta para NAMA - CIAT ha generado estudio sobre impacto del cambio climático en café con alternativas de cultivos sustitutos en zonas - Participación en proceso sello de huella ambiental	No	No	Sí (Asociación de cooperativas CAFENICA, hay que masificar)

D: en desarrollo; P: en preparación

CONCLUSIONES

Los participantes al taller identificaron algunos elementos claves para mejorar el desarrollo de las NAMA en la región, detalladas a continuación.

Elementos base para la conceptualización de NAMA: desde la percepción de las instituciones académicas, gubernamentales y cafetaleras de PROMECAFE, presentes en el taller. Los siguientes conceptos y enfoques están, o deben ser, asociados e integrados a NAMA:

- Mitigación: reducción de emisiones y captura de GEI como contribución al esfuerzo de reducir las emisiones y reducir así los impactos y la vulnerabilidad.
- Adaptación: se recomienda integrar acciones de adaptación o coordinar cercanamente con los planes de adaptación, ya que el sector es altamente vulnerable a los impactos negativos del cambio climático y otros factores socio-económicos.
- Reducción del riesgo a desastres: integrar los enfoques, metas y experiencias de esta línea de trabajo con prevención de impactos de desastres, ordenamiento territorial (gobiernos locales, nacionales, sectores), sistemas de aseguramiento y sistema de alerta temprana.
- Sistemas agroforestales cafetaleros diversificados como referencia contextualizada en cada país, con manejo integral de la caficultura (sistema agroforestal, manejo integrado de plagas, buenas prácticas, manejo de aguas mieles y pulpa, prácticas energéticas eficientes).
- Análisis y diseño de medidas con el enfoque de cadenas de valor y de la economía circular (productividad integral), buscando mayor justicia en cuanto a la distribución de beneficios y oportunidades económicas, particularmente respecto a pequeños(as) cafetaleros(as) y sus familias.

- Análisis y seguimiento a externalidades sociales y ambientales positivas y negativas en toda la cadena de producción.
- Sistemas de valoración y compensación por servicios ambientales/ecosistémicos (monetarios y no monetarios).
- Equidad de género, grupos de edad (juventud/adultos mayores) y comunidades indígenas y afrodescendientes.
- Fortalecimiento de capacidades de todos los actores vinculados al sector referente a conocimientos del cultivo, clima, mitigación y adaptación, incluyendo las siguientes temáticas: gestión, liderazgo, organización, legislación ambiental, técnicas apropiadas al clima.

Las herramientas claves para dar seguimiento a las NAMA en los países deberán ser: el monitoreo de la vulnerabilidad y capacidad adaptativa asociada con planes de finca y a los actores del resto de la cadena del sector, así como la medición, reporte y verificación para emisiones y capturas monitoreadas paralelamente. Se debe contar con el monitoreo de buenas prácticas frente a la mitigación, adaptación y desarrollo sostenibles e incluyentes, y con una valoración (económica, social, cultural) integral de servicios y productos de los sistemas agroforestales cafetaleros, incluyendo estimaciones de los impactos (pérdidas y daños) de fenómenos extremos y tendencias climáticas en las zonas cafetaleras.

Dentro de los mecanismos financieros para implementación de buenas prácticas y pago por servicios ambientales (PSA): Se identificó que en Honduras, la inclusión financiera climática (IFC), mantiene incentivos para la siembra de árboles en cafetales y PSA. En Costa Rica existe un mecanismo PSA, y seguro cafetalero con incentivos para siembra de árboles, además del mecanismo de Bandera Azul Ecológica.

En Guatemala existe la integración de políticas ambientales aplicadas al sector cafetalero, programa piloto GEF-PSA, bosques, la ley PROBOSQUE que contempla la siembra de árboles para cafetales nuevos o recién establecidos, por lo que habrá que evaluar los resultados. En El Salvador, existe un programa nacional de renovación de cafetales, tiene compromisos nacionales para la siembra de un millón de hectáreas (incluye café), y la valoración del parque cafetalero. Finalmente, República Dominicana posee una nueva ley de pagos por servicios ambientales.

Por otra parte, se conoce que en toda Centroamérica existen varios proyectos específicos (diferentes fondos de múltiples donantes, cooperación y empresas comercializadoras de café), para la siembra de árboles en cafetales dirigidos a pequeños productores, pero aún no existe una línea base de todas estas iniciativas.

Los organismos identificados con mecanismos de financiamientos activos en la región fueron: BCIE, NAMA/Facility, Green Climate Fund, GEF-GIZ, EUROCLIMA, KFW, IKI y FIDA, entre otros. En el taller se consideró que estos mecanismos podrán ajustarse o crear facilidades más enfocadas en atender la demanda del sector café, en particular de los pequeños y medianos productores y sus organizaciones. El sector financiero privado deberá ser considerado, principalmente si se quiere seguir contando con productos financieros más ampliamente disponibles. Existen empresas privadas que ya están haciendo aportes. Se conoce que existen fondos nacionales vinculados a clima que se deben potenciar.

El otro mecanismo complementario a café y clima, conocido como “la huella ambiental” con sello ambiental de Latinoamérica y/o etiquetado ambiental, continúan con procesos en marcha en Costa Rica, Guatemala, Honduras, República Dominicana y El Salvador. Este mecanismo, al igual que las certificaciones en café, se deben revisar y mejorar.

Se propone el establecimiento de una comunidad de práctica regional (grupo de trabajo coordinado por PROMECAFE), con una posible iniciativa de fomento de las NAMA fortalecidas con elementos de adaptación y gestión de riesgo.

Se considera que existen beneficios al contar con un espacio para la coordinación regional de las NAMA, pues la curva de aprendizaje es compleja si cada país emprende este esfuerzo aisladamente. Los países del SICA tienen cierta imagen e institucionalidad regional que es posible potenciar. Además, se debe dar seguimiento o integrar temas complementarios como la adaptación, el fortalecimiento de la cadena de valor en beneficio de la agricultura sostenible adaptada al clima y de los pequeños productores y sus organizaciones, hasta temas comerciales de este “commodity”, tales como su huella ambiental y las diversas certificaciones que pueden dar ventajas comerciales y evidenciar las contribuciones sociales y ambientales de cadenas de valor más sostenibles e incluyentes.

Se identificaron 16 prácticas de mayor relevancia ante el riesgo climático en función de la adaptación, mitigación, productividad y la gestión del riesgo, las cuales se enumeran a continuación:

- Manejo eficiente de fertilización, con enfoque integral, potenciando la gestión circular.
- Manejo equilibrado de la fertilidad natural y nutrición de los suelos y cafetales.
- Manejo de residuos (aguas mieles, pulpa, cascarilla). Analizar posibilidades de generar productos comerciales de subproductos.
- Uso eficiente de agua en beneficiado.
- Mejoras en tecnología de beneficiado (secado solar, por ejemplo).
- Sistemas energéticos eficientes (paneles solares, gasificados, biocombustibles, ecofogones, entre otros).
- Sistemas agroforestales mejorados (servicios, maderables, frutales).
- Bio-insumos (producción en fincas, desarrollo de productos comerciales de calidad, *biochart*).
- Utilización de variedades mejoradas.
- Cosecha de agua y riego eficiente.
- Prácticas de conservación de suelos (siembra en curvas a nivel, barreras vivas, terrazas individuales, fosas de infiltración).
- Cobertura del suelo (siembra de leguminosas o hierbas nobles/buenas de cobertura).
- Diversificación del agroecosistema en la finca con productos y fuentes de ingresos.
- Manejo integral de plagas y enfermedades (monitoreo, sistemas de alerta temprana, información climatológica, análisis-investigación y cooperación entre científicos, técnicos y productores).
- Prácticas de valor agregado de la producción con mayor apropiación de oportunidades en el resto de la cadena de valor.

- Uso de tecnologías de información y comunicación apropiadas.

Dentro de las barreras para la implementación de NAMA, se analizaron aquellas de índole técnica, legal y socioeconómica, así como los recursos y falta de metodologías integrales (MRV). Algunas reconocidas son:

- Se necesita fortalecer la coordinación interinstitucional y la transparencia en el manejo de los recursos.
- Existen debilidades en las alianzas público-privadas.
- Se evidencian esfuerzos dispersos (falta de planificación y colaboración integral), además de limitantes en las políticas de estado (falta de consistencia en políticas públicas).
- Existe informalidad de productores en los procesos de trazabilidad vinculada a políticas sectoriales y de Estado.
- La inequidad es una barrera en la distribución de la riqueza de la cadena de valor; además, faltan alternativas para los jóvenes de regiones cafetaleras y existen limitantes metodológicas y de currícula educativa (todos los niveles, ausente o limitada educación ambiental).
- Hay un alto crecimiento demográfico y manteniendo de estilos de vida consumistas.
- Limitantes económicas y la capacidad de administración en fincas, cooperativas, empresas y entidades.
- Existe falta de compensación de los bienes y servicios ecosistémicos brindados, pero se imponen requisitos y costos para la implementación de prácticas.
- Altos costos de producción (insumos y mano de obra).
- Limitantes de mercadeo, consumo interno.
- Limitantes en políticas fiscales y arancelarias.



Participantes del Taller Regional Café y Clima (NAMA), realizado en Guatemala, 2 y 3 de septiembre de 2019.
Foto: E. de M. Virginio Filho.

BIBLIOGRAFÍA

- Avagyan, A; Karttunen, K; De Vit, C; Rioux, J. 2015. Herramienta de aprendizaje sobre medidas de mitigación apropiadas para cada país en el sector de la agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra. Roma, Italia, FAO. 165 p.
- Bunn, C; Lundy, M; Castro-Llanos, F. 2019. Impacto del cambio climático en la producción de café en México y Centroamérica. Cali, Colombia, CIAT. 24 p.
- CEPAL (Comisión Económica para América Latina y el Caribe); CAC (Consejo Agropecuario Centroamericano)/SICA (Sistema de la Integración Centroamericana). 2014. Impactos potenciales del cambio climático sobre el café en Centroamérica. México. 131 p.
- CEPAL (Comisión Económica para América Latina y el Caribe); INDOCAFE (Instituto Dominicano del Café); CNCCMDL (Consejo Nacional para el Cambio Climático y Mecanismo de Desarrollo Limpio). 2018. Café y cambio climático en la República Dominicana. Impactos potenciales y opciones de respuesta. Ciudad de México, México. 204 p.
- GIZ (Agencia de Cooperación Alemana para el Desarrollo). 2020. Proyecto de Apoyo a las NAMA Café bajo en emisiones de Costa Rica (página web). Disponible en <https://www.giz.de/en/worldwide/34087.html>
- IPCC (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático). 2006. Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero. National Greenhouse Gas Inventories Programme ed. H.S, E; L, B; K, M; T, N; K, T (eds.). Japón, IGES. No. Volumen 1: Orientación general y generación de informes.
- Läderach, P; Zelaya, C; Ovalle, O; García, S; Eitzinger, A; Baca, M. 2012a. Escenarios del impacto del clima futuro en áreas de cultivo de café en México. Cali, Colombia, CIAT.
- Läderach, P; Zelaya, C; Ovalle, O; García, S; Eitzinger, A; Baca, M. 2012b. Escenarios del impacto del clima futuro en áreas de cultivo de café en El Salvador. Cali, Colombia, CIAT.
- Läderach, P; Zelaya, C; Ovalle, O; García, S; Eitzinger, A; Baca, M. 2012c. Escenarios del impacto del clima futuro en áreas de cultivo de café en Nicaragua. Cali, Colombia, CIAT.
- Läderach, P; Zelaya, C; Ovalle, O; García, S; Eitzinger, A; Baca, M. 2012d. Escenarios del impacto del clima futuro en áreas de cultivo de café en Guatemala. Cali, Colombia, CIAT.
- Lennox, J. 2019. El café y NAMAs: retos y oportunidades frente al cambio climático. *In* Taller regional NAMA café PROCAGICA-CATIE-IICA-PROMECAFE, Realizado en ANACAFFE. 2019, Guatemala, 2 y 3 de septiembre 2019). CEPAL
- OIC (Organización Internacional del Café). 2019. Informe de la OIC sobre desarrollo cafetero de 2019. Londres, Inglaterra. 17 p.
- ONU (Organización de las Naciones Unidas). 1992. Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. Nueva York, Estados Unidos. 26 p.

*Reseñas de resultados del proyecto***Red de parcelas de experimentación y validación participativa de prácticas innovadoras para manejo integral y control de plagas y enfermedades en cafetales de Centroamérica**

Arlene López-Sampson¹, Elias de Melo Virgínio Filho², Eduardo Somarriba³, Bayron Medina⁴, Harold Gamboa⁵, José Sebastián Marcucci⁶, Marco Tulio Duarte⁷, Omar Funes⁸, Carlos Rubén Núñez⁸, Calixto García⁹, Adán Hernández¹⁰, Julio Grande¹⁰, Miguel Obando¹¹, Cinthya González¹¹, José Eduardo Escobar¹¹, Raúl Gutiérrez¹², Mauricio Carcache¹³, Félix Pozo¹², Norvin Sepúlveda¹⁴, Eduardo Say¹⁵, Ever Cruz¹⁶, Carlos Jones León¹⁷, Fernando Casanoves³, Carlos Viera¹⁸, Francisco Navarrete¹⁹, Sophya Reyes²⁰, Elvin Navarrete²⁰, Nery Herrera⁴, Josué Guerra⁴

RESUMEN

La caficultura moderna enfrenta muchos desafíos que afectan de forma negativa su sostenibilidad, como es el caso de la pérdida de productividad por afectaciones epidemiológicas exacerbadas por condiciones fluctuantes del clima. El objetivo de la investigación, en el marco del Proyecto CATIE-PROCAGICA-IICA-UE, fue establecer una red de 200 parcelas en cuatro países de Centroamérica (Guatemala, El Salvador, Honduras y Nicaragua, 50 por país), para monitorear el efecto de protocolos de investigación con prácticas innovadoras en el manejo y control de plagas y enfermedades asociadas al cultivo del café. Los protocolos aplicados fueron: 1) Manejo integral mejorado del cafetal (MI), 2) control químico-orgánico de enfermedades (químico-orgánico) y 3) control químico convencional (convencional). Además, se monitoreó el comportamiento de variedades resistentes a la roya (variedades). Las parcelas se establecieron en tres pisos altitudinales: bajo (<1000 m), medio (1000-1400 m) y alto (>1400 m). Cuarenta y cuatro por ciento de las parcelas se localizan en el estrato bajo, 34% en el estrato medio y el restante 22% en el estrato alto. El protocolo para validar MI se aplicó en todas las parcelas establecidas, el químico-orgánico en un 14% de parcelas y el convencional entre un 18% y 40% de las parcelas. Parcelas de variedades resistentes fueron establecidas entre un 10% a un 40% de las parcelas por país. La red de parcelas se amplió a partir de la incorporación de 24 fincas en Costa Rica en colaboración con la fundación Café Forestal, COOCAFE, Fundecooperación, ICAFE y MAG. En este artículo se presentan los principales resultados de incidencia de roya en las parcelas de evaluación de variedades resistentes y parcelas de tratamiento de manejo integral. En esta red de parcelas se cuenta con un conjunto de prácticas/innovaciones de manejo en diferentes agroambientes cafetaleros que permiten innovaciones de adaptación.

Palabras clave: innovación, manejo integral, investigación participativa, control plagas y enfermedades, nuevas variedades, roya.

ABSTRACT

Modern coffee farming faces many challenges that negatively affect its sustainability, such as the loss of productivity due to epidemiological effects exacerbated by fluctuating weather conditions. The objective of the research, within the framework of the CATIE-PROCAGICA-IICA-EU Project, was to establish a network of 200 plots in four Central American countries (Guatemala, El Salvador, Honduras and Nicaragua, 50 per country), to monitor the effect of research protocols with innovative practices in the management and control of pests and diseases associated with coffee cultivation. The protocols applied were: 1) Comprehensive improved coffee plantation management (MI), 2) chemical-organic disease control (chemical-organic) and 3) conventional chemical control (conventional). In addition, the behavior of varieties resistant to rust (varieties) was monitored. The plots were established in three altitudinal floors: low (<1000 m), medium (1000-1400 m) and high (>1400 m). Forty-four percent of the plots are located in the low stratum, 34% in the middle stratum and the remaining 22% in the high stratum. The protocol to validate MI was applied in all the established plots, the chemical-organic in 14% of the plots and the conventional between 18% and 40% of the plots. Resistant variety plots were established between 10% to 40% of the plots per country. The network of parcels was expanded with the incorporation of 24 farms in Costa Rica in collaboration with the Café Forestal Foundation, COOCAFE, Fundecooperación, ICAFE and MAG. This article presents the main results of rust incidence in the evaluation plots of resistant varieties and integrated management treatment plots. In this network of plots there is a set of management practices/innovations in different coffee agro-environments that allow adaptation innovations.

Keywords: innovation, integral management, participatory research, pest and disease control, new varieties, rust.

1 CATIE-Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, Costa Rica; lopez@catie.ac.cr

2 CATIE-PROCAGICA-IICA-UE, Costa Rica

3 CATIE-Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, Costa Rica

4 CATIE-PROCAGICA-IICA-UE, Guatemala

5 PROCAGICA/IICA, Costa Rica

6 IICA/PROCAGICA/ANACAFE, Guatemala

7 ANACAFE-Asociación Nacional del Café, Guatemala

8 IHCAFE-Instituto Hondureño del Café, Honduras

9 PROCAGICA/IICA, Honduras

10 CENTACAFE-Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal, El Salvador

11 INTA-Instituto Nicaragüense de Tecnología Agropecuaria, Nicaragua

12 PROCAGICA/IICA -Programa Centroamericano de Gestión Integral de la Roya de Café/ Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, Nicaragua

13 IICA-Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, Nicaragua

14 CATIE-Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, Nicaragua

15 CATIE-Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, Guatemala

16 PROCAGICA/IICA, El Salvador

17 FUNCAFOR-Fundación Café Forestal, Costa Rica

18 CATIE/PROCAGICA, Honduras

19 CATIE/PROCAGICA, El Salvador

20 CATIE/PROCAGICA-IICA-UE, Nicaragua

INTRODUCCIÓN

La caficultura moderna enfrenta muchos desafíos que afectan de forma negativa su sostenibilidad, tal como la pérdida de productividad por afectaciones epidémicas exacerbadas por fluctuaciones del clima. Por ejemplo, eventos epidemiológicos de roya causados por el hongo *Hemileia vastatrix* Berk. & Br. en el período entre 2007-2013, afectó negativamente al sector cafetalero en varias regiones de Latinoamérica, con tasas de incidencias entre 10 y 30%, según la región. Así mismo, reportes de incidencia en Colombia indicaron que la producción cafetalera se redujo hasta en 31% durante los años de epidemia (2008-2011) en comparación con 2007. En Centroamérica, la producción se redujo un 16% en la cosecha 2013 con relación a la cosecha 2011-2012 y un 10% con la cosecha 2013-2014 respecto a 2012-2013 (Avelino *et al.* 2015). Numerosas investigaciones indican que son muchos los factores que intervienen en el desarrollo de una epidemia; por ejemplo, condiciones ambientales (Bock 1962; Boudrot *et al.* 2016), manejo al cultivo (Avelino *et al.* 2006) y estado de salud del cultivo (Cristancho *et al.* 2012; Villarreyna Acuña 2014).

El manejo agronómico del cultivo ha probado ser de gran importancia en el control de eventos epidemiológicos de roya. En fincas cafetaleras de Honduras, donde se ha monitoreado por tres años la incidencia de roya y el manejo de cultivo, se encontró que las parcelas con sistemas de manejo intensivo (pleno sol y fertilización), presentaron altos rendimientos acompañados de alta incidencia de roya (>75); al año siguiente se experimentó una caída en los rendimientos y en la incidencia de roya. En parcelas con sombra densa se obtuvieron rendimientos moderados (carga de frutas >200 nudos activos) y la incidencia de roya fue moderada alta (>30%). En este ejemplo, es posible que las condiciones de sombra influyeron en la germinación de las urediniosporas y los rendimientos moderados, y no fue necesario el control de roya con métodos costosos. Se analizaron también parcelas con poca sombra y densidades altas de siembra de cafetos, sin fertilización y sin podas. Bajo estas características los rendimientos fueron pobres (carga de frutas <100 nudos activos) y la incidencia de roya moderada alta (30-60%) a lo largo de los años de evaluación, aun cuando el número de nudos sobrepasó los 200 (Avelino *et al.* 2004; Avelino *et al.* 2006).

Otros estudios han confirmado el posible efecto del manejo en los niveles de afectación de roya. En Nicaragua, un estudio que examinó la asociación de condiciones de manejo agronómico con niveles de

afectación por roya durante la epidemia en 2012, reportó que fincas con niveles de afectación baja estuvieron asociadas a: 1) niveles de manejo alto, por ejemplo, aplicación de fungicidas >2 en 2011 y >3 en 2012, regulación de sombra, monitoreo de roya, manejo de tejidos; 2) alta fertilización y 3) condiciones socioeconómicas altas de los productores. Mientras, cafetales con niveles altos de afectación por roya estuvieron ligados a condiciones de baja fertilización, manejo reducido (menor frecuencia de las actividades realizadas por el grupo de fincas con manejo alto) y bajo nivel socioeconómico (Villarreyña Acuña 2014). Este mismo estudio estimó las pérdidas por efecto de roya en 9 qq ha⁻¹ que pudieron ser evitados con la aplicación de un conjunto de prácticas eficientes para el cultivo de café.

La relación sombra/cobertura en cafetales con incidencia de roya es un tema controversial. Algunos investigadores han reportado que bajo condiciones de sombra se aumenta la incidencia de roya (López-Bravo *et al.* 2012). Mientras que otros colegas indican que no hay correlación entre el porcentaje de sombra e incidencia de roya y han documentado un efecto negativo entre el número de estratos de sombra e incidencia de roya (Soto-Pinto *et al.* 2002). Por lo tanto, es imperativo validar el impacto de diferentes prácticas de manejo sobre los ciclos de plagas y enfermedades.

El objetivo de esta investigación fue establecer una red de parcelas experimentales para probar el efecto de un conjunto de prácticas/innovaciones de manejo en diferentes agroambientes cafetaleros en la región centroamericana.

METODOLOGÍA

Descripción de las parcelas y protocolos de prácticas de innovación/validación

Se estableció una red de 200 parcelas permanentes en plantaciones de café de cuatro países centroamericanos (Guatemala, El Salvador, Honduras y Nicaragua, 50 por país), en el marco del Programa Centroamericano de Gestión Integral de la Roya del Café (PROCAGICA) para monitorear el efecto de tres protocolos de manejo con prácticas innovadoras para el control de plagas y enfermedades asociadas al cultivo del café. Las parcelas se distribuyeron en tres pisos altitudinales: bajo (<1000 m), medio (1000-1400 m) y alto (>1400 m). En cada finca se establecieron entre dos y tres parcelas por protocolo de manejo, una parcela con las prácticas de innovación, una

testigo (donde no se realizó ningún manejo) y, en algunos casos, parcelas con el manejo tradicional brindado por los productores. Esta red contó con el seguimiento de personal técnico y promotores de campo vinculados a CATIE-PROCAGICA, de IICA-PROCAGICA y de las instituciones nacionales de café de cada país.

Además, en Costa Rica con la Fundación Café Forestal y Coocafé, se estableció una red de 24 fincas con el fin de conocer ejemplos de manejo integral de cafetales. Esta red se estableció en el marco del fondo de adaptación Fundecooperación con apoyo del MAG e ICAFE. Para estas parcelas se validaron por tres años (2017 a 2019) temas como rediseño de sombra, mecanización en el manejo de sombra, cortinas rompevientos con árboles y arbustos, bioinsumos, variedades mejoradas, cosecha de agua y riego. En este proceso participaron de manera continua siete cooperativas de café (Coopcerroazul, Coopepilangosta, Coopeldos, Coopemiramontes, Coopellanobonito, Coopesarabito y Coopesarapiqui). Los temas de validación fueron definidos a partir de diagnóstico participativo de análisis de la vulnerabilidad y capacidad adaptativa frente el cambio climático, con base en la metodología desarrollada por Virginio Filho (Villareyna *et al.* 2017). Las fincas y parcelas de Costa Rica tuvieron el monitoreo técnico por parte de la Fundación Café Forestal, técnicos de las cooperativas, del MAG y de ICAFE.

Los protocolos de las prácticas de innovación/validación de manejo evaluados fueron:

1. Manejo integral de sistemas agroforestales de café donde se validó el potencial de un plan de manejo integral de cafetal único que integre innovaciones técnicas con potencial de acuerdo con los intereses y capacidad de cada productor (por ejemplo, manejo de sombra, fertilización, manejo de tejidos, control de plagas y enfermedades).
2. Control químico de enfermedades (roya, ojo de gallo) optimizados, que incluye tres aplicaciones: 1) con un fungicida curativo (Triazol) en verano para bajar el inóculo; 2) con un producto a base de Triazol + Estrobilurina durante la fase de botón floral previa a una floración grande y 3) aplicación de un fungicida protector 40 días después de la segunda aplicación.
3. Control orgánico que incluye tres aplicaciones: 1) con fungicida protector (caldo bordelés) previa a la apertura de botón floral de una floración alta; 2) con fungicida protector 40 días después de la apertura de botón floral, en días sin lluvia y 3) con

fungicida protector 40 días después de la segunda aplicación.

4. Tendencia de incidencia de roya en variedades resistentes a la misma.

En el Cuadro 1 se presenta la distribución de parcelas por protocolo de innovación/validación por país y estrato altitudinal.

Evaluaciones de plagas y enfermedades

Las evaluaciones de plagas y enfermedades se realizaron dos veces al año (una en la época seca y la otra en época lluviosa), durante las temporadas 2019-2020. El porcentaje de la incidencia de barrenadores de frutos de café (broca) y roya (LR) y otras siete enfermedades se estimaron en 20 cafetos. El recuento se realizó seleccionando cinco cafetos representativos por cuadrante de un total de 200 plantas de café que conformaron el área útil de la parcela. Los conteos de hojas/frutos sanos e infestados se realizaron según la posición de las bandolas en la planta, las cuales se dividieron en tres estratos: alto, medio y bajo. En la planta 1 se contabilizaron únicamente los frutos/hojas (sanos e infestados) localizados en la bandola representativa del estrato alto; en la planta 2, los frutos/hojas localizadas en la bandola representativa del estrato medio; en la planta 3, los frutos/hojas localizadas en la bandola representativa del estrato bajo; en la planta 4 se inicia nuevamente con el conteo en la bandola representativa del estrato alto y así sucesivamente hasta completar los 20 cafetos. Además, se contabilizaron los nudos totales, nudos vivos, hojas y frutos totales de la bandola.

Análisis de datos

Para las parcelas establecidas en El Salvador, Guatemala, Honduras y Nicaragua, los datos fueron analizados con estadísticas descriptivas y gráficos de barra comparando incidencia de roya y tratamiento. La forma de evitar sesgos en este tipo de diseños de bloques incompletos consiste en considerar el efecto del productor como aleatorio. Debido a que los factores época de año, año y tratamientos presentan un arreglo factorial incompleto, se realizó un análisis para cada época en cada año. Todos los análisis se realizaron en InfoStat (Di Rienzo *et al.* 2011), MS Excel y R (R Core Team 2015).

Las parcelas de Costa Rica fueron evaluadas de manera cualitativa mediante sondeos y visitas a familias productoras. Los resultados fueron analizados en una serie de talleres realizados en las cooperativas involucradas con el seguimiento (Virginio Filho 2019).

Cuadro 1. Distribución de parcelas según altitud y protocolo de prácticas de innovación/validación para el control de plagas y enfermedades en cafetales en cuatro países de Centroamérica

Categoría altitud	Protocolo manejo integrado	Control químico	Control orgánico	Protocolo variedades
El Salvador				
A	1	1	1	1
B	39	2	1	39
M	10	4	4	10
Subtotal El Salvador	50	7	6	50
Guatemala				
A	17	7	2	11
B	11	5	2	9
M	22	8	2	20
Subtotal Guatemala	50	20	6	40
Honduras				
A	19	2	3	1
M	30	6	5	2
Subtotal Honduras	49	8	8	3
Nicaragua				
B	27	7	5	13
A	23	6		5
Subtotal Nicaragua	50	13	6	18

Gradiente altitudinal: A: estrato alto (>1400 m), B: estrato bajo (<1000 m), M: estrato medio (1000-1400 m)

Avances de resultados (El Salvador, Guatemala, Honduras, Nicaragua)

En la siguiente sección presentaremos las tendencias de incidencia de roya por país para los tratamientos manejo integral, métodos específicos de control y evaluación de variedades catalogadas como resistentes a roya.

Incidencia de roya en Nicaragua

En Nicaragua, las parcelas de validación están ubicadas en promedio a los 998 msnm (rango de altitud entre 357 m y 1392 m). El 60% de las fincas se ubican en el estrato altitudinal bajo y 42% en el estrato medio. Caturrra y Catimor son las variedades de café que dominan en las parcelas estudiadas (64% del total). Las parcelas bajo manejo integral y las de prácticas de control tuvieron las menores incidencias de roya, cuando fueron comparadas con parcelas testigo (sin manejo) que presentaron el mayor número de hojas dañadas por la enfermedad. Las parcelas de innovación mostraron una reducción

en el promedio de hojas enfermas por roya en el 2019 en comparación al 2018, sugiriendo algún efecto del manejo dado a los cafetales (Figura 1). Las variedades evaluadas fueron: i) Parainema, ii) injerto de Sarchimor en Robusta, iii) Centroamericano, iv) Obata rojo, v) Villa-Sarchimor, y vi) Marsellesa. Esta última fue la variedad que presentó mayor incidencia por roya en los dos años de medición, con un incremento en la incidencia del 2019 con respecto a la del 2018 (Figura 2). Los porcentajes de roya en los dos años de evaluación estuvieron en el rango del 2% al 30%; durante 2019 se registró el mayor porcentaje de incidencia de roya. En la Figura 3 se puede observar la tendencia de producción de nudos vivos en la parcela de variedades. Las variedades Centroamericano y el injerto de Sarchimor en Robusta fueron las que presentaron mayor cantidad de nudos vivos en promedio por bandola (>10 nudos) y la variedad Villa-Sarchimor fue la que presentó la menor cantidad de nudos en promedio durante 2019 (seis nudos).

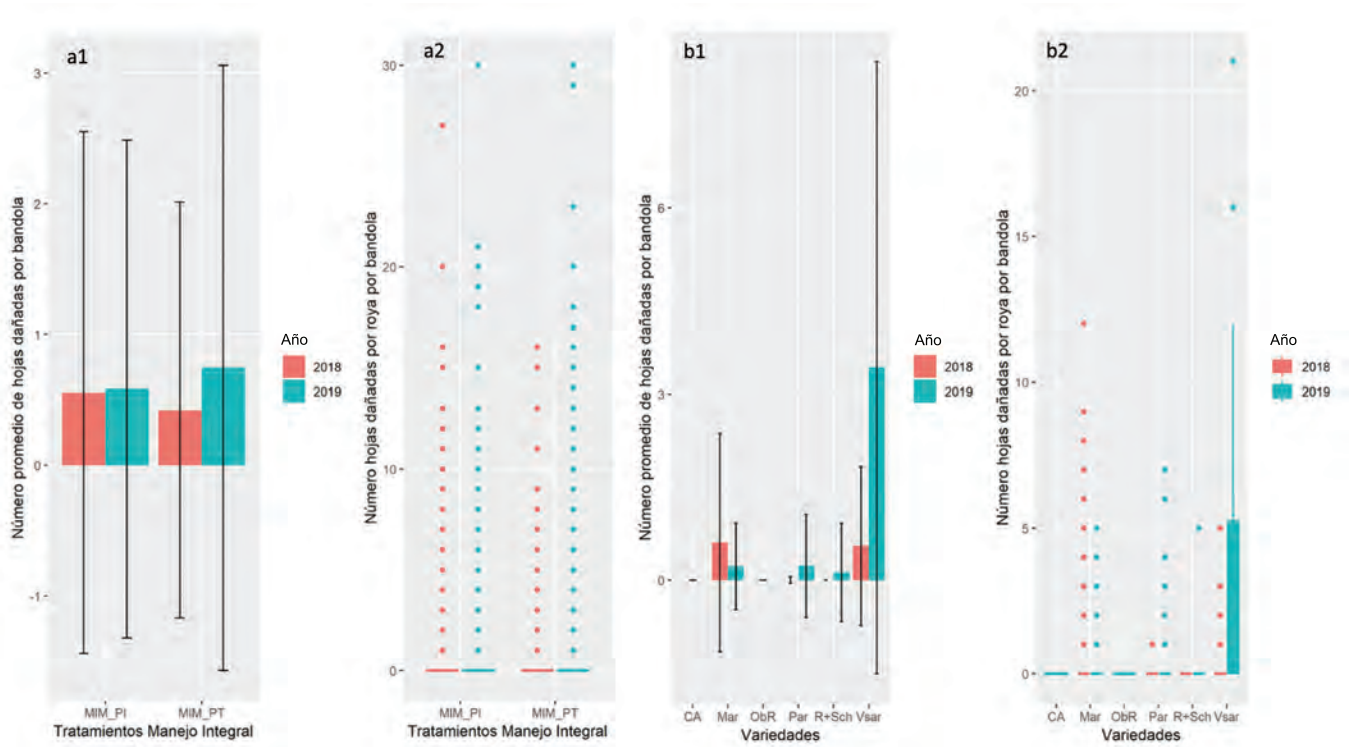


Figura 1. Afectación de roya en los años 2018 y 2019 en el tratamiento manejo integral (a1 y a2) y tendencia en variedades resistentes (b1, b2) en cafetales de Nicaragua. Las gráficas a1 y b1 corresponden a los promedios de hojas dañadas por bandola. Las líneas de los extremos inferior y superior de las barras representan la desviación estándar. Las gráficas a2 y b2 representan la variabilidad de hojas dañadas durante los eventos de evaluación. Las líneas de color rosa y verde de las gráficas a2 y b2 representan la mediana y las líneas de los extremos de arriba y debajo de las cajas son el 25% y el 75% cuartil, respectivamente. MIM_PI= manejo integral parcelas de innovación; MIM_PT: manejo integral parcelas testigo; CA: variedad Centroamericano; Mar: Marsellesa; ObR: Obata rojo; Par: Parainema; R+Sch: injerto Robusta+ Sarchimor; Vsar: Villa Sarchimor.

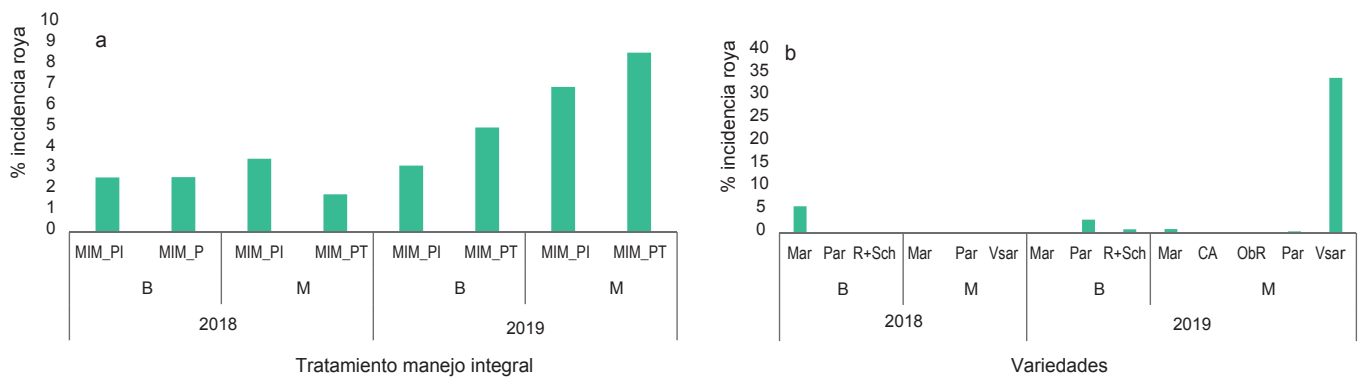


Figura 2. Incidencia de roya (%) en el tratamiento manejo integral (a) y variedades (b) según altitud y periodo de evaluación (2018 y 2019) en cafetales de Nicaragua. Mar: Marsellesa, Par: Parainema, R+Sch: injerto Robusta+ Sarchimor; CA: Centroamericano, ObR: Obata rojo, Vsar: Villa Sarchimor. Altitud B: baja (<1000 m); M: media (1000-1400 m)

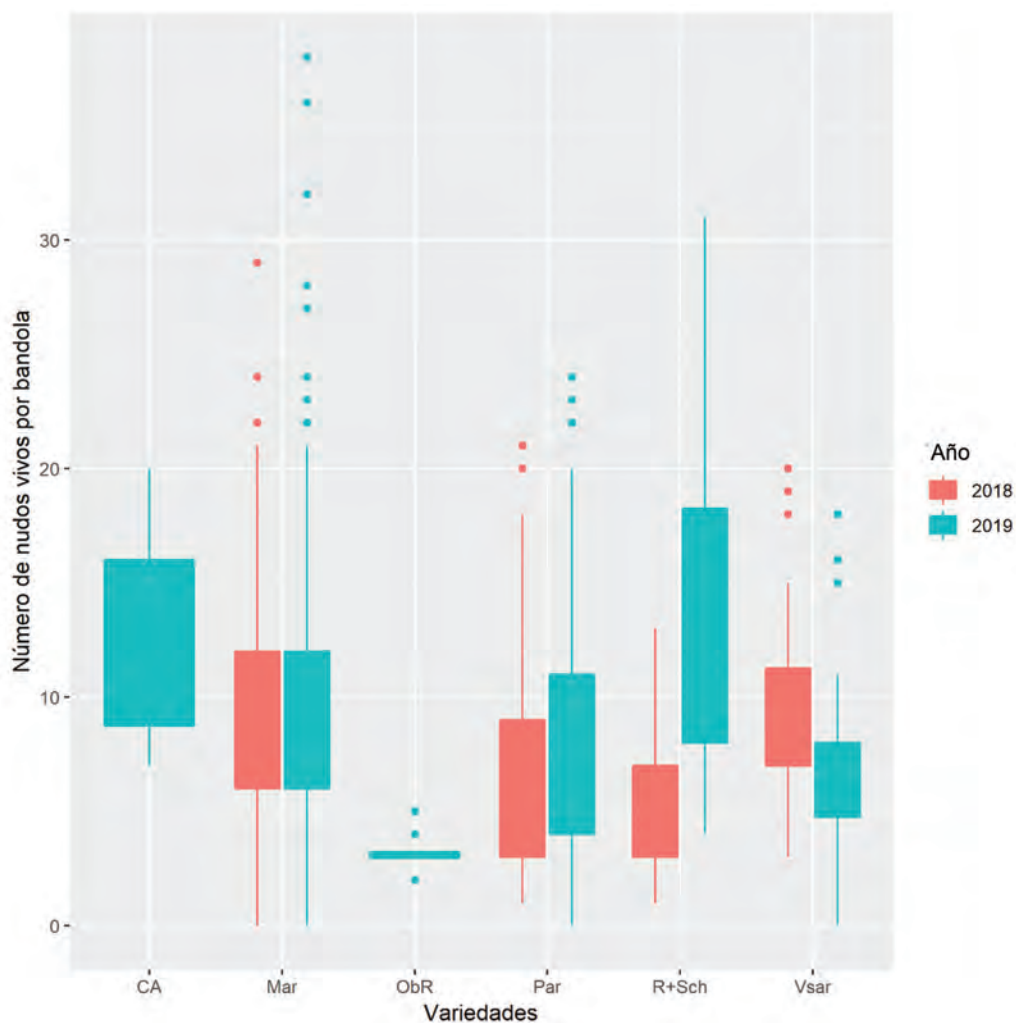


Figura 3. *Boxplot* del número de nudos vivos por bandola y variedad durante el periodo de evaluación (2018 - 2019) en cafetales de Nicaragua. Las líneas de los extremos de arriba y abajo de las cajas representan el 25% y el 75% cuartil, respectivamente. CA: Centroamericano, Mar: Marsellesa, ObR: Obata rojo, Par: Parainema, R+Sch: injerto Robusta+Sarchimor; Vsar: Villa Sarchimor

Incidencia de roya en Honduras

En Honduras las parcelas de validación se ubican, en promedio, a los 1292 msnm (rango de altitud entre 849 m y 1649 m). El 61% de las fincas se ubican en el estrato medio y un 39% en el alto. Lempira y Catimor son las variedades de café que dominan las parcelas estudiadas (55% del total). La incidencia de roya durante el 2019 (único año evaluado), en el tratamiento manejo integral, indica que en la parcela testigo (sin manejo) se registró la mayor incidencia de roya, mientras que en las parcelas de innovación se registró la menor afectación, lo que sugiere que el manejo dado a los cafetales tuvo un efecto positivo (Figura 4). La evaluación de variedades

de café resistentes a la roya consideró dos (Lempira y Parainema), establecidas en sólo dos parcelas con manejo integral. Lempira fue la variedad que presentó la mayor incidencia por roya (Figura 5) y es a la vez la variedad más común en los cafetales evaluados. La incidencia de roya estuvo en el rango del 0 al 30%. El mayor porcentaje se registró en las parcelas de manejo integral (Figura 4). En la Figura 6 se puede observar la tendencia de producción de nudos vivos en la parcela de variedades. Como se observa, esta variedad presentó aproximadamente 50% menos de nudos vivos en comparación con Parainema.

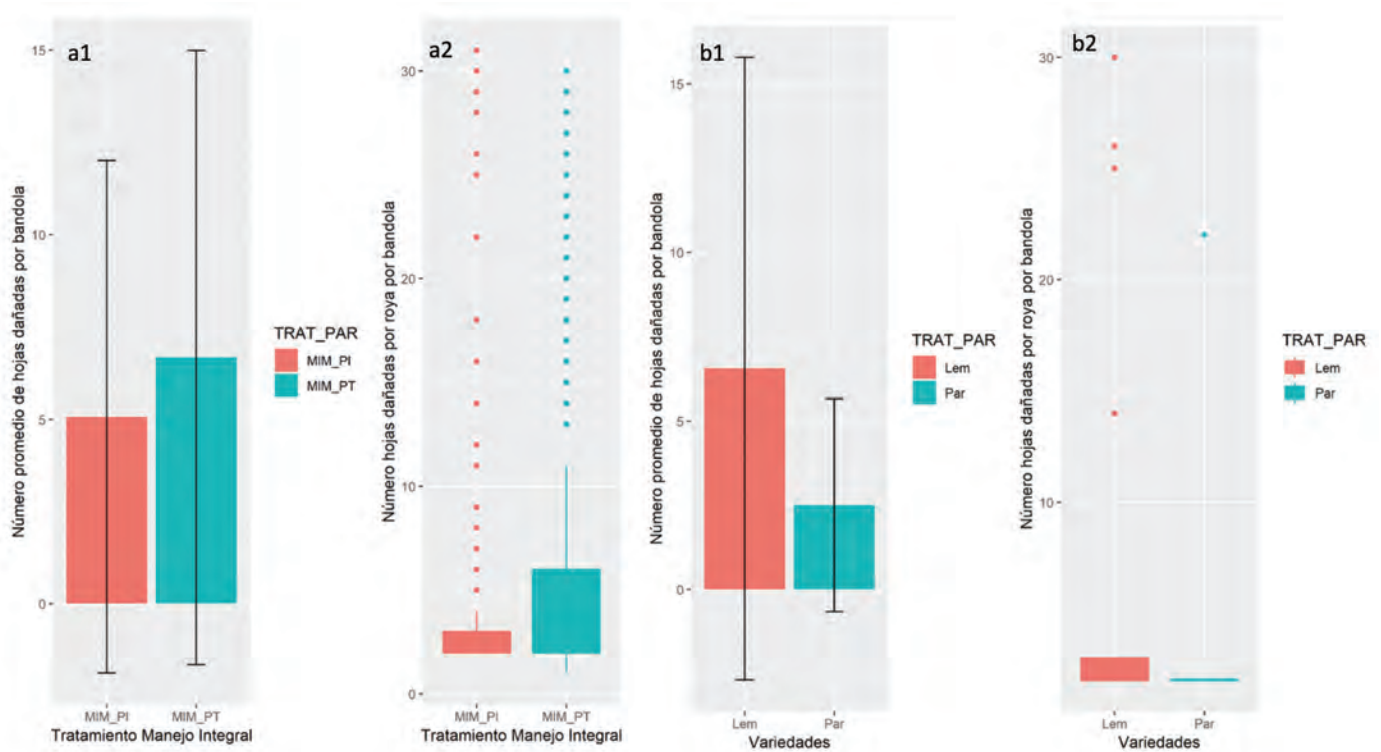


Figura 4. Afectación de roya en el tratamiento manejo integral (a1 y a2) y tendencia en variedades resistentes (b1, b2) en cafetales de Honduras, año 2019. Las gráficas a1 y b1 corresponden a los promedios de hojas dañadas por bandola. Las líneas de los extremos inferior y superior de las barras representan la desviación estándar. Las gráficas a2 y b2 representan la variabilidad de hojas dañadas durante los eventos de evaluación. Las líneas de color rosa y verde representan la mediana y las líneas de los extremos de arriba y abajo de las cajas son el 25% y el 75% cuartil respectivamente. MIM_PI= manejo integral parcelas de innovación; MIM_PT: manejo integral parcelas testigo; Lem: Lempira; Par: Parainema

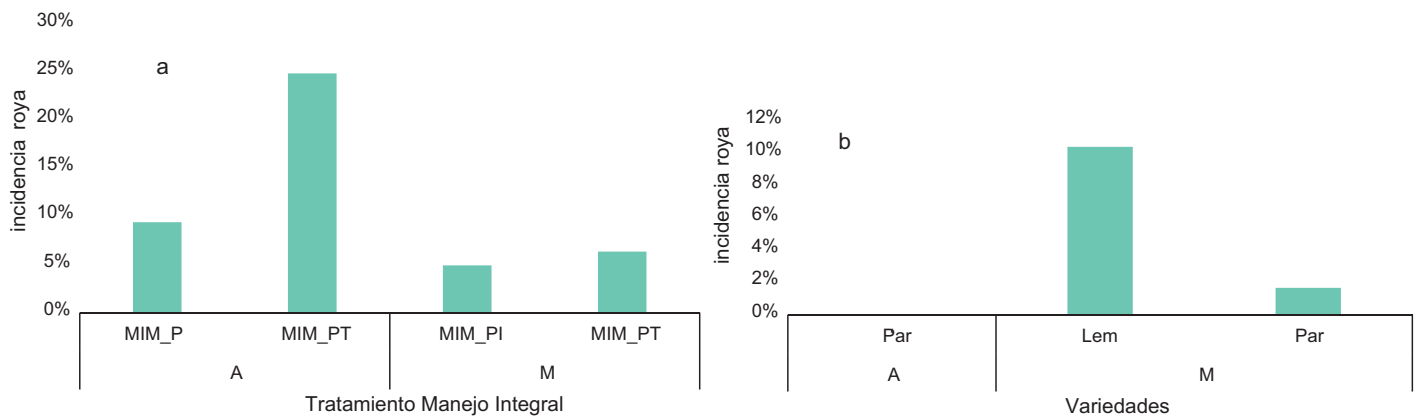


Figura 5. Incidencia de roya (%) en el tratamiento manejo integral (a) y variedades (b) por altitud en cafetales de Honduras, año 2019. MIM_PI= Manejo integral parcelas de innovación; MIM_PT: manejo integral parcelas testigo. Par: Parainema, Lem: Lempira. Altitud A: alta (>1400 m); M: media (1000-1400 m)

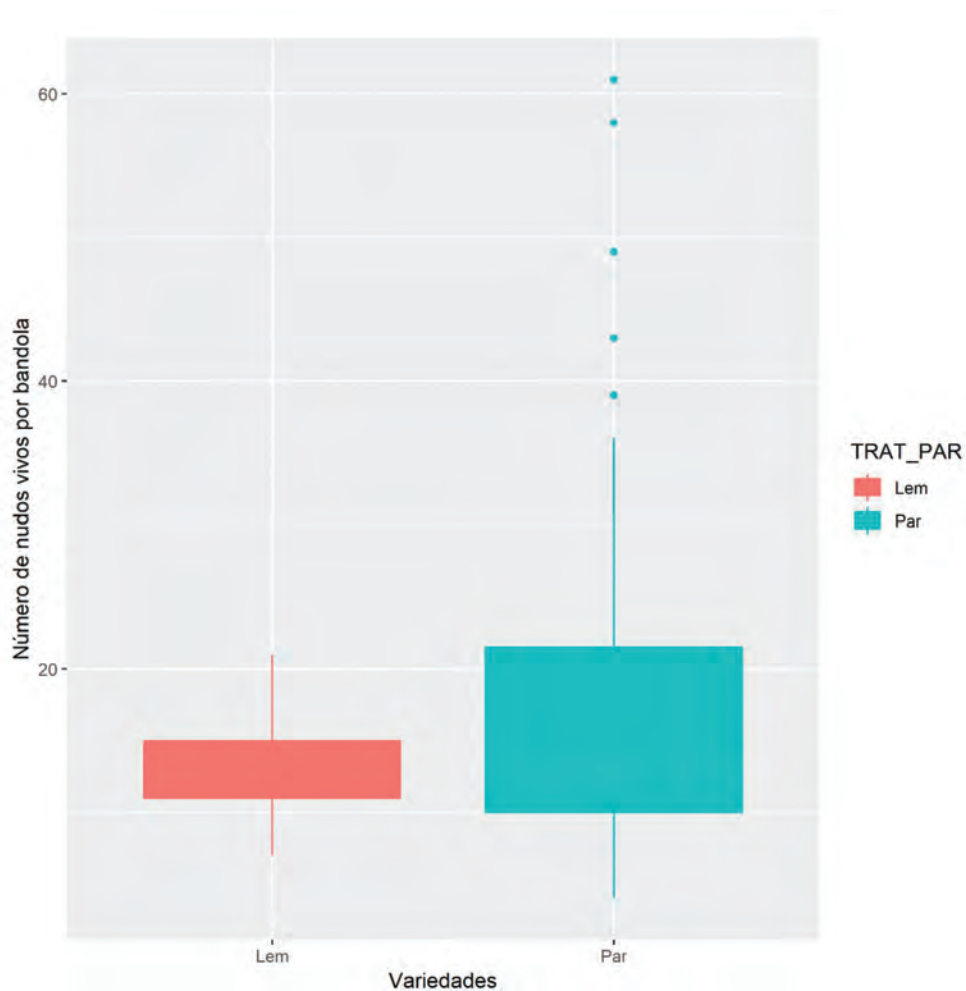


Figura 6. *Boxplot* del número de nudos vivos por bandola y variedad en tratamiento variedad en cafetales de Honduras, año 2019. Las líneas de los extremos de arriba y abajo de las cajas representan el 25% y el 75% cuartil, respectivamente. Lem: Lempira. Par: Parainema

Incidencia de roya en El Salvador

En El Salvador, las parcelas de validación se ubican en promedio a los 890 msnm (rango de altitud entre 540 m y 1430 m). La mayoría de las fincas se localizan en el estrato bajo de altitud (82%), seguido de un 39% en el estrato alto y solo un 6% de las parcelas están ubicados en el estrato alto. Catisic y Costa Rica 95 son las variedades de café con más presencia en las parcelas estudiadas (58% del total). Las parcelas testigos (sin manejo) registraron el mayor número de hojas con roya mientras que las parcelas de innovación (manejo integral y variedades mejoradas), las que registraron el menor número de hojas con roya durante el 2019 (único año evaluado). El porcentaje de afectación por roya en las parcelas testigo del tratamiento MI estuvieron

localizadas en el estrato de mayor altitud (>1400 m) con un 30% de hojas afectadas (figuras 7 y 8).

En El Salvador se evaluaron ocho variedades resistentes a la roya: i) Anacafé-14, ii) Catimor (Catisic), iii) Costa Rica 95, iv) Cuzcatleco, v) Icatú amarillo, vi) Icatú rojo, vii) Parainema y viii) Sarchimor. Las variedades Catisic y CR-95 fueron las que presentaron el mayor número de hojas con roya (Figura 7). El porcentaje de roya estuvo en el rango de 0 al 14% (Figura 8). En la Figura 9 se puede observar la tendencia de producción de nudos vivos en la parcela de variedades. Durante el año evaluado (2019), Parainema e Icatú roja fueron las que menos nudos vivos presentaron por bandola (<8 nudos).

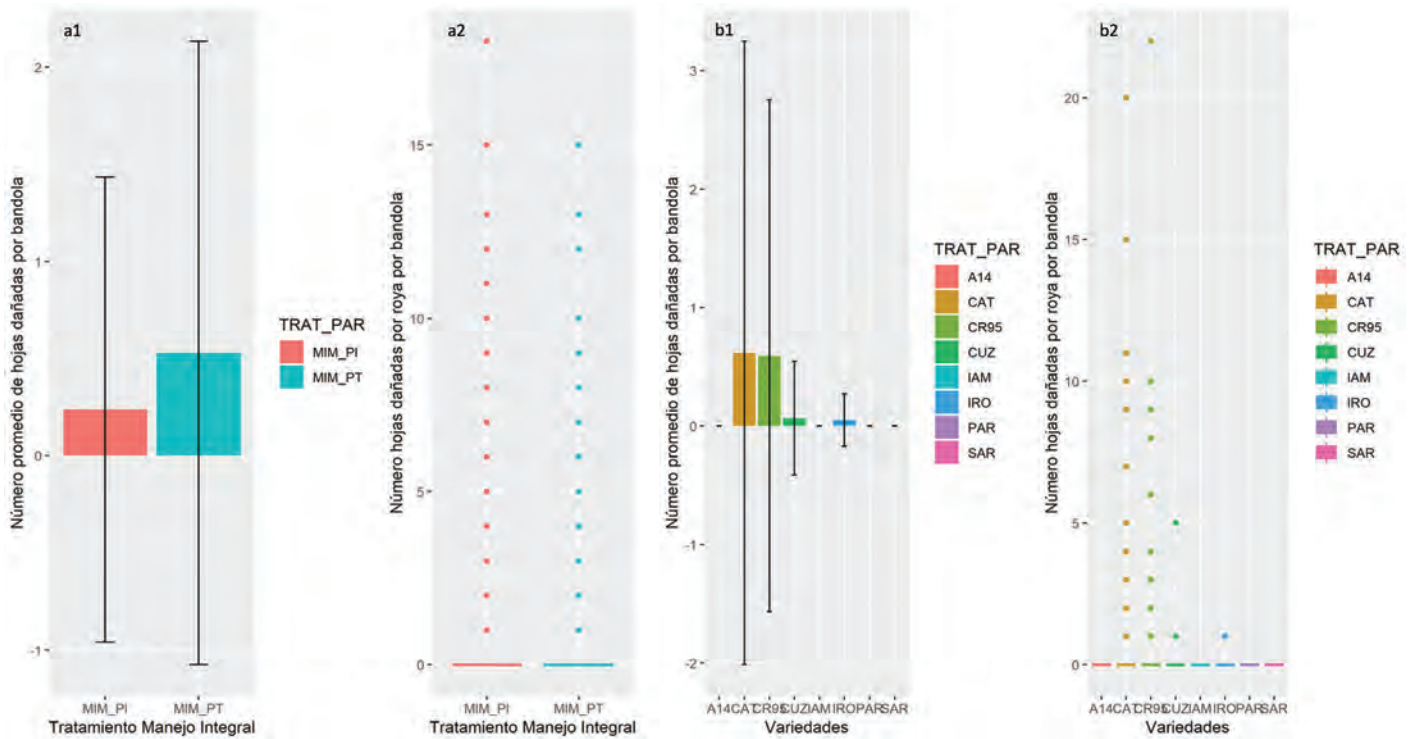


Figura 7. Afectación de roya en el tratamiento manejo integral (a1, a2) y tendencia en variedades resistentes (b1, b2) en El Salvador, año 2019. Las gráficas a1 y b1 corresponden a los promedios de hojas dañadas por bandola. Las líneas de los extremos inferior y superior de las barras representan la desviación estándar. Las gráficas a2 y b2 representan la variabilidad de hojas dañadas durante los eventos de evaluación. Las líneas de colores representan la mediana. MIM_PI: manejo integral parcelas de innovación; MIM_PT: manejo integral parcelas testigo; A14: Anacafé-14; CAT: Catimor, CR95: Costa Rica 95; CUZ: Cuzclateco; IAM: Icatú amarillo, IRO: Icatú rojo, PAR: Parainema y SAR: Sarchimor.

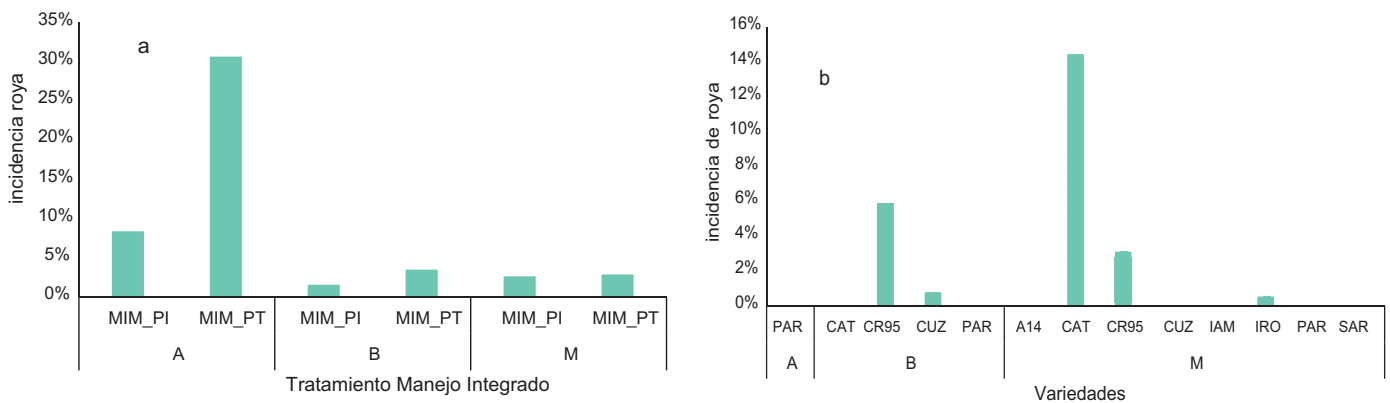


Figura 8. Incidencia de roya (%) en el tratamiento manejo integral (a) y variedades (b) según altitud en cafetales de El Salvador, año 2019. MIM_PI: manejo integral parcelas de innovación; MIM_PT: manejo integral parcelas testigo; A14: Anacafé-14; CAT: Catimor, CR95: Costa Rica 95; CUZ: Cuzclateco; IAM: Icatú amarillo, IRO: Icatú rojo, PAR: Parainema y SAR: Sarchimor. Altitud A: alta (>1400 m); B: (<1000 m); M: media (1000-1400 m)

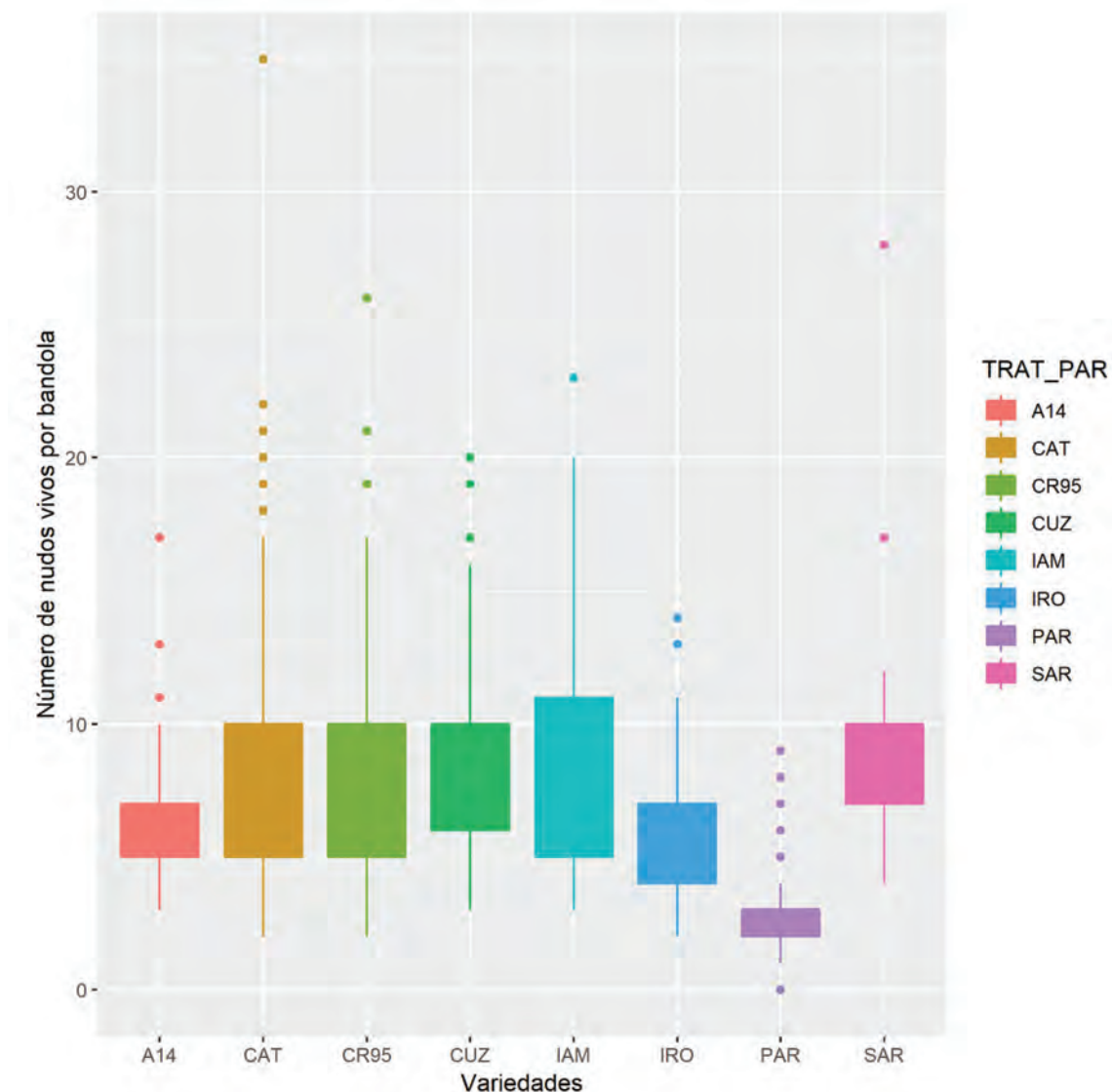


Figura 9. Boxplot del número de nudos vivos por bandola y variedad en cafetales de El Salvador, año 2019. Las líneas de los extremos de arriba y abajo de las cajas representan el 25% y el 75% cuartil, respectivamente. A14: Anacafé-14; CAT: Catimor, CR95: Costa Rica 95; CUZ: Cuzclateco; IAM: Icatú amarillo, IRO: Icatú rojo, PAR: Parainema y SAR: Sarchimor

Incidencia de roya en Guatemala

En Guatemala, las parcelas de validación se ubican en promedio a los 890 msnm (rango de altitud 540 m y 1430 m). La mayoría de las fincas (46%) se ubican en el estrato medio, seguidas del 31% en el bajo y el 23% en el alto. La variedad Anacafé-14 fue la de más presencias en las parcelas estudiadas (50% del total), seguidas de Catimor (12%) y Caturra (8%). El restante 30% está representado por otras variedades. En este país se presentan únicamente los resultados de la evaluación de incidencia de roya en el tratamiento variedades, dado que por razones de logística no se completaron las evaluaciones a los tratamientos en las parcelas de manejo integrado. En Guatemala se evaluaron cuatro

variedades de café resistentes a la roya: i) Anacafé-14, ii) Borbón (selección local), iii) Catimor y iv) Sarchimor. El porcentaje de incidencia de roya en el año de evaluación, estuvo en el rango de 0 al 4% (Figura 10). La variedad Catimor presentó el mayor número de hojas afectado por roya, así como el porcentaje de incidencia más alto (parcelas localizadas en el estrato medio). La variedad Anacafé 14, presente tanto en el estrato bajo como alto, solo fue afectada en el alto, pero en muy baja incidencia (Figura 11). La variedad con mayor número promedio de nudos vivos por bandola fue la Catimor, seguida de Anacafé 14 (<25 nudos vivos por bandola en ambas variedades) (Figura 12).

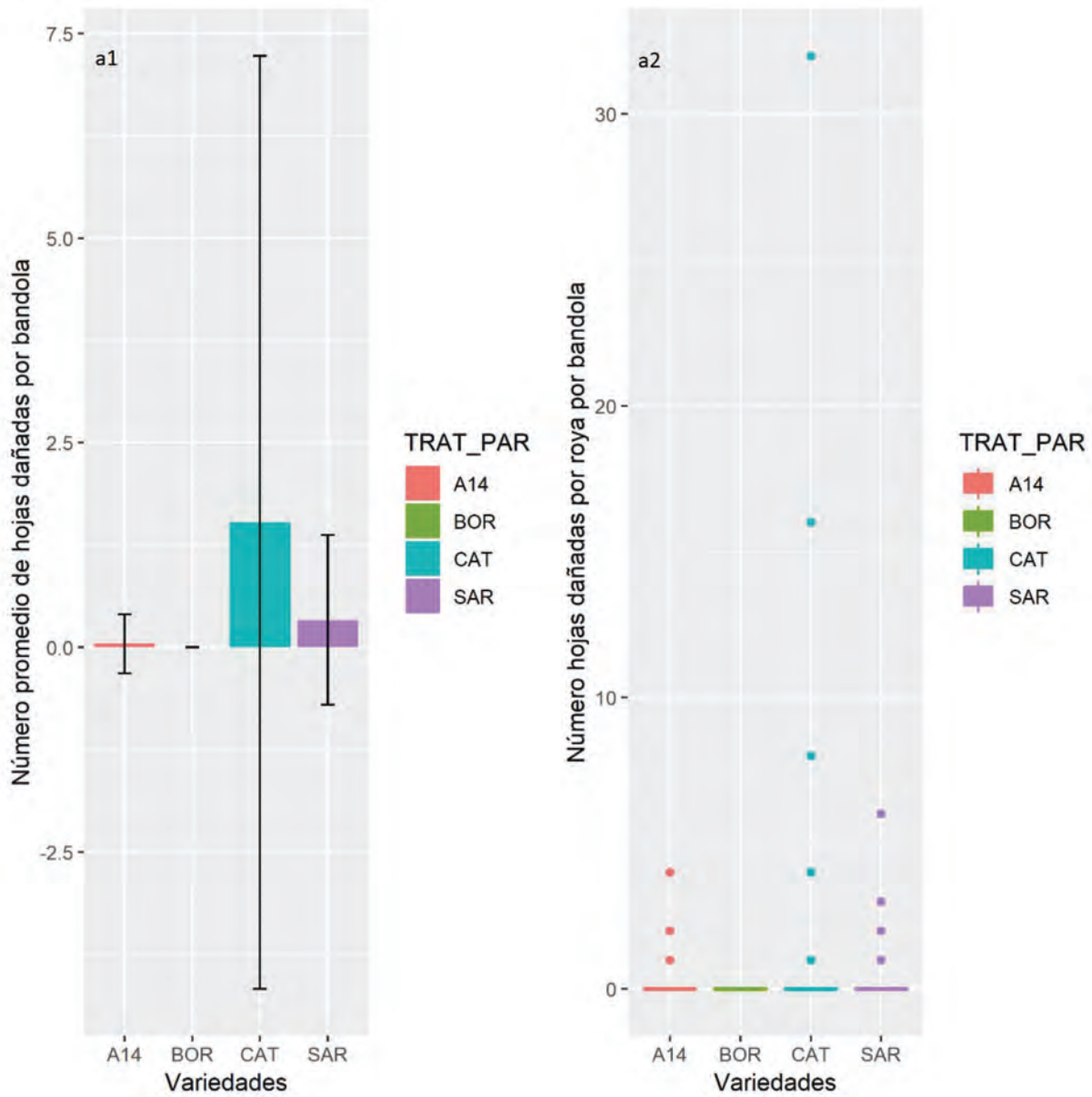


Figura 10. Afectación de roya en cafetales con variedades de café resistentes en dos regiones de Guatemala, año 2019. La gráfica a1 representa el número promedio de hojas dañadas por bandola. Las líneas de los extremos inferior y superior de las barras representan la desviación estándar. La gráfica a2 representa la variabilidad de hojas dañadas durante la evaluación. Las líneas de colores representan la mediana. A14: Anacafé-14; CAT: Catimor, BOR: Borbón, SAR: Sarchimor.

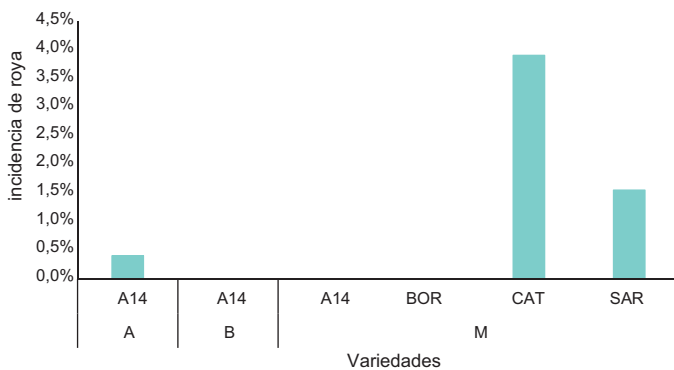


Figura 11. Incidencia de roya (%) en el tratamiento variedades resistentes a roya según altitud en cafetales de Guatemala, año 2019. A14: Anacafé-14; BOR: Borbón; CAT: Catimor, y SAR: Sarchimor. Categoría Altitud A: alta (>1400 m); B: (<1000 m), M: media (1000-1400 m).

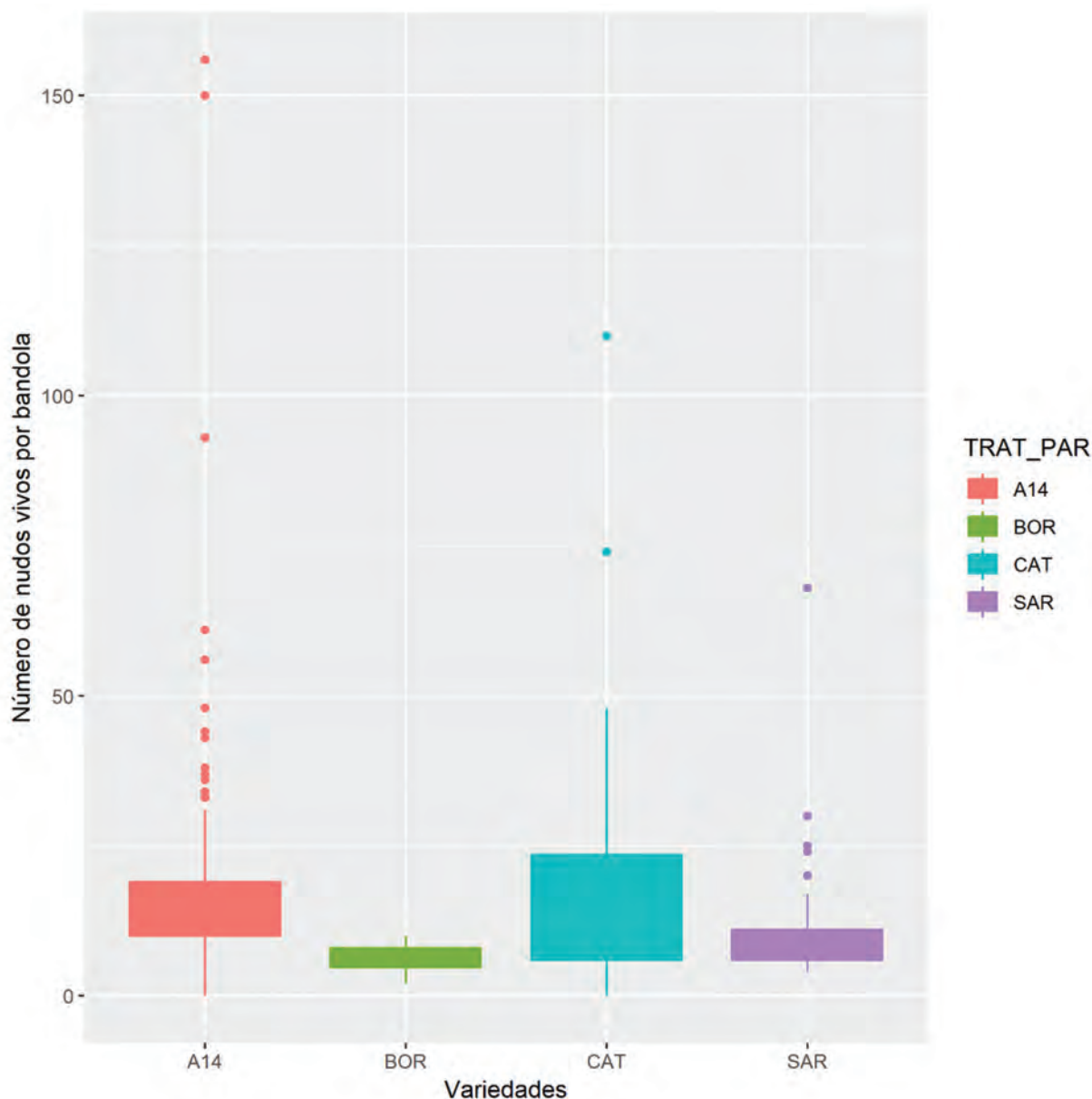


Figura 12. *Boxplot* del número de nudos vivos por bandola y variedad en cafetales de Guatemala, año 2019. Las líneas de los extremos de arriba y abajo de las cajas representan el 25% y el 75% cuartil, respectivamente. A14: Anacafé-14; BOR: Borbón, CAT: Catimor, SAR: Sarchimor

Experiencias de Costa Rica en el manejo integral de cafetales

La experiencia del *Proyecto de adaptación de la caficultura al cambio climático COOCAFE-FUNDECOOPERACIÓN-Fondo de Adaptación*, con la colaboración del programa CATIE-PROCAGICA-IICA-UE, permitió definir las innovaciones ideales como medidas de adaptación y manejo integral de los cafetales. En total fueron priorizadas seis innovaciones: i) cosecha de agua/riego; ii) barreras rompavientos con árboles; iii) aboneras; iv) mecanización en manejo de

hierbas; v) mecanización en manejo de sombra y vi) variedades mejoradas de café. Todos los productores participantes en la validación de las medidas de adaptación indicaron que fueron una buena opción porque mejoraron las condiciones de la finca y su cafetal en particular.

Una de las innovaciones validadas fue la mecanización del manejo de árboles de sombra. La poda se realizó con máquina telescópica con sierra, dejando 2 o 3 ramas a una altura intermedia (4-5 m) de los árboles de servicio

(poró, *Erythrina* sp. y guaba, *Inga* sp., entre otros), lo que permitió un aporte mayor de biomasa (hojas, ramas), fijación de nitrógeno en raíces y un microclima más adecuado que el de la poda drástica a baja altura (práctica común en los cafetales de Costa Rica). Un 95,5% de los productores indicaron que la mecanización de sombra les facilitaba realizar la práctica de arreglo de copa de los árboles. Otra de las prácticas realizadas en las fincas como medida de adaptación, fue la evaluación de variedades resistentes-tolerantes a la roya.

Las evaluaciones cualitativas por sondeos y visitas a fincas determinaron los alcances de la red de parcelas establecidas en Costa Rica. Según los resultados obtenidos, 15 productores (60% de los consultados) están evaluando 10 variedades de café en sus fincas. En el Cuadro 2 se muestra la lista de variedades y el porcentaje de fincas que la están evaluando.

Percepción de los productores sobre el comportamiento del desarrollo inicial, producción y resistencia a sequía de algunas de las variedades de café mejoradas

En el Cuadro 3 se presenta la percepción de los productores sobre el comportamiento en desarrollo inicial, producción y

resistencia a sequía de algunas de las variedades mejoradas. Entre las variedades evaluadas en fincas se destaca el Obata (parcelas de 1 a 5 años de establecidas), Costa Rica 95 (de 3 a 24 años), híbridos F1 Centroamericano (parcelas de 2 a 4 años), Victoria (2 a 3 años) y San Isidro (2 años).

Cuadro 2. Variedades de café seleccionadas por los productores para ser evaluadas y validadas en fincas cafetales de Costa Rica

Variedad	Fincas (%)
Obata	87
Costa Rica 95	53
Catimor	27
Victoria	20
San Isidro	13
Híbrido F1-centroamericano	13
Catigua	7
Marsellesa	7
Tupy	7

Cuadro 3. Percepción de los productores sobre el comportamiento de las cuatro variedades preferidas como estrategia de adaptación en cafetales de Costa Rica

Variedad: Obata	Altitud: 475 - 1700 m
Edad plantación: x = 2,2 años (1 a 5 años)	n = 12 productores
Comportamiento desarrollo inicial <ul style="list-style-type: none"> • 25% de los productores dijeron que tenían un desarrollo muy bueno • 42% de los productores dijeron que tenían un desarrollo bueno • 16% de los productores dijeron que tenían un desarrollo lento • 67% de los productores indicó que la respuesta fue mejor al Caturra/Catuai 	Resistencia a sequía <ul style="list-style-type: none"> • 58% de los productores indicó que tenían buena respuesta a sequía • 67% de los productores indicó que la respuesta fue mejor al Caturra/Catuai
Plagas y enfermedades <ul style="list-style-type: none"> • 34% de los productores indicó que era resistente • 17% de los productores indicó que era pronto para evaluar • 17% de los productores indicó que tenían poca roya en algunas plantas • 8% de los productores indicó que tenían ojo de gallo • 16% de los productores indicó que tenían mancha de hierro • 8% de los productores reportó afectaciones por antracnosis • 67% de los productores indicó que fue mejor al Caturra/Catuai 	Producción de café <ul style="list-style-type: none"> • 25% de los productores indicó obtener muy buena producción • 25% de los productores indicó obtener buena producción • 8% indicó obtener una producción regular • 42% sin producción (plantación joven)
Variedad: Costa Rica-95	Altitud: 490 - 1700 m
Edad plantación: x = 13 años (3 a 24 años)	n: 8 productores
Comportamiento desarrollo inicial <ul style="list-style-type: none"> • 43% de los productores opinó que tenían un muy buen desarrollo • 57% de los productores dijeron que el comportamiento fue bueno • 83% de los productores indicó que la respuesta fue mejor al Caturra/Catuai • 17% de los productores indicó que la respuesta fue igual al Caturra/Catuai 	Resistencia a sequía <ul style="list-style-type: none"> 57% de los productores indicó que tenían buena respuesta a sequía 29% de los productores indicó que tenían muy buena respuesta a sequía 67% de los productores indicó que la respuesta fue mejor al Caturra/Catuai

<p>Plagas y enfermedades</p> <ul style="list-style-type: none"> • 57% de los productores indicó que no tenían problemas • 28% de los productores indicó que tenían problemas con ojo de gallo • 14% de los productores indicó que tenían poca roya en algunas plantas • 63% de los productores no respondieron si la variedad fue mejor al Caturra/Catuai • 25% de los productores indicó que la respuesta fue mejor al Caturra/Catuai • 13% de los productores indicó que la respuesta fue peor al Caturra/Catuai 	<p>Producción de café</p> <ul style="list-style-type: none"> • 50% de los productores indicó obtener muy buena producción • 38% de los productores indicó obtener buena producción • 13% de los productores indicó obtener producción regular • 50% de los productores opinó que la respuesta fue mejor al Caturra/Catuai • 13% de los productores indicó que la respuesta fue igual al Caturra/Catuai
Variedad: Victoria	Altitud: 922 - 975 m
Edad plantación: x = 2,3 años (2 a 3 años)	n: 3 productores
<p>Comportamiento desarrollo inicial</p> <ul style="list-style-type: none"> • 67% opinó que tenían un muy buen desarrollo • 33% de los productores dijeron que el comportamiento fue bueno • 67% de los productores indicó que la respuesta fue mejor al Caturra/Catuai • 33% de los productores indicó que la respuesta fue igual al Caturra/Catuai 	<p>Resistencia a sequía</p> <ul style="list-style-type: none"> • 100% de los productores indicó que tenían buena respuesta a sequía • 67% de los productores indicó que la variedad fue mejor al Caturra/Catuai • 33% de los productores no contestó si la variedad fue mejor, igual o peor al Caturra/Catuai
<p>Plagas y enfermedades</p> <ul style="list-style-type: none"> • 100% de los productores indicó que no tenían ningún problema con plagas y/o enfermedades • 67% de los productores indicó que la respuesta fue mejor al Caturra/Catuai • 33% de los productores no contestó si la variedad fue mejor, igual o peor al Caturra/Catuai 	<p>Producción de café</p> <ul style="list-style-type: none"> • 100% de los productores indicó muy buena producción • 67% de los productores indicó que la respuesta fue mejor al Caturra/Catuai • 33% de los productores no contestó si la variedad fue mejor, igual o peor al Caturra/Catuai
Variedad: híbrido F1-Centroamericano	Altitud: 900 - 1100 m
Edad plantación: x =3 años (2 a 4 años)	n: 2 productor
<p>Comportamiento desarrollo inicial</p> <ul style="list-style-type: none"> • 50% opinó que tenían un muy buen desarrollo • 50% de los productores dijeron que el comportamiento fue bueno • 100% de los productores indicó que la respuesta fue mejor al Caturra/Catuai 	<p>Resistencia a sequía</p> <ul style="list-style-type: none"> • 50% de los productores indicó que tenían muy buena respuesta a sequía • 50% de los productores dijeron que tenían buena respuesta a sequía • 50% de los productores indicó que la variedad fue mejor al Caturra/Catuai • 50% de los productores indicó que la respuesta fue peor al Caturra/Catuai
<p>Plagas y enfermedades</p> <ul style="list-style-type: none"> • 100% de los productores indicó que no tenían ningún problema con plagas y/o enfermedades • 100% de los productores indicó que la respuesta fue mejor al Caturra/Catuai 	<p>Producción de café</p> <ul style="list-style-type: none"> • 100% de los productores indicó muy buena producción • 100% de los productores indicó que la respuesta fue mejor al Caturra/Catuai
Variedad: San Isidro	Altitud: 922 - 1000 m
Edad plantación: 2 años	n: 2 productores
<p>Comportamiento desarrollo inicial</p> <ul style="list-style-type: none"> • 50% opinó que tenían un muy buen desarrollo • 50% de los productores dijeron que el comportamiento fue bueno • 50% de los productores indicó que la respuesta fue mejor al Caturra/Catuai • 50% de los productores indicó que la respuesta fue igual al Caturra/Catuai 	<p>Resistencia a sequía</p> <ul style="list-style-type: none"> • 100% de los productores indicó que tenían muy buena respuesta a sequía • 100% de los productores indicó que la variedad fue mejor al Caturra/Catuai
<p>Plagas y enfermedades</p> <ul style="list-style-type: none"> • 100% de los productores indicó que no tenían ningún problema con plagas y/o enfermedades • 100% de los productores indicó que la respuesta fue mejor al Caturra/Catuai 	<p>Producción de café</p> <ul style="list-style-type: none"> • 50% de los productores indicó muy buena producción • 50% de los productores indicó buena producción • 100% de los productores indicó que la respuesta fue mejor al Caturra/Catuai

Además de la evaluación del comportamiento de variedades, para la red de parcelas de Costa Rica se consideró la opinión de los y las productoras sobre las prácticas de cosecha de agua y riego, barreras rompevientos con árboles, bioinsumos, mecanización en el control de hierbas y en el manejo de los árboles de sombra. En su conjunto todas las prácticas fueron valoradas positivamente (Cuadro 4).

SÍNTESIS GENERAL DE RESULTADOS DE LA RED DE PARCELAS ESTABLECIDAS EN CAFETALES DE CENTROAMÉRICA

En el Cuadro 5 se presenta una síntesis de los principales hallazgos de cada una de las prácticas validadas en las parcelas de café establecidas en cinco países de Centroamérica. La información resume e integra los hallazgos generales tanto de las evaluaciones cuantitativas, como cualitativas realizadas para el conjunto de innovaciones validadas en las fincas.

Cuadro 4 Resultados de la evaluación participativa de innovaciones con productores de fincas de la red de parcelas de Costa Rica

Prácticas/innovaciones	Resultados (% de productores)	Total de fincas
Cosecha de agua y riego	67 consideró muy importante 33 no reconoció la necesidad de la práctica	12
Barreras rompevientos con árboles	100 consideró muy importante	10
Aboneras (bioinsumos sólidos y líquidos)	100 consideró muy importante	7
Mecanización en control de hierbas	100 consideró muy importante	10
Mecanización en el manejo de árboles de sombra en cafetales	96 consideró muy importante	22

Fuente: Virgínio Filho *et al.* (2019, Anexo 5 sobre informe final de validación de prácticas e intercambios)



Validación del uso de podadora telescópica mecánica en manejo de sombra, El Salvador. Foto: F. Navarrete.



Manejo integral de sistemas agroforestales, finca de validación, Rancho Grande, Matagalpa, Nicaragua. Foto: E. de M. Virgínio Filho



Evaluación de la variedad ANACAFE 14, en sistemas agroforestal, El Salvador Foto: F. Navarrete.



Validación de bioinsumos, Finca Cañaveral, Turrialba, Costa Rica. Foto: P. Roche

Cuadro 5. Síntesis de resultados de buenas prácticas validadas en una red de parcelas* en cafetales resilientes y adaptados al cambio climático

Prácticas	Descripción	Síntesis resultados
1. Variedades de café mejoradas	El Salvador: Cuscatleco, Anacafé 14, Catimor, Sachimor, Parainema, Costa Rica 95, Icatú	Cuscatleco y Anacafé tolerantes/resistentes a roya y muy buen vigor y productividad superando variedades susceptibles comerciales.
	Guatemala: Costa Rica 95, otros Catimores, Sarchimor, Anacafé 14 y Lempira	Tolerantes/resistentes a roya y muy buen vigor y productividad superando variedades susceptibles comerciales.
	Honduras: Lempira, Parainema	Lempira con manejo integral ha tenido excelente resultado en productividad, con buen control de roya. Parainema muy buenos resultados resistencia/tolerancia a roya y productividad.
	Nicaragua: Lempira, Parainema, Centroamericano, Obata rojo	Lempira superó a CATRENIC y Caturra, tanto en tolerancia a la roya como en vigor y productividad. El Centroamericano presentó muy buen vigor, muy buena tolerancia a roya y muy alta productividad. Parainema obtuvo la menor incidencia de roya igualmente con muy buen vigor y productividad.
	Costa Rica: Centroamericano, Milenio, Obata, Costa Rica 95	Excelentes respuestas de tolerancia/resistencia a roya, tolerancia a sequía, con alta productividad.
2. Controles de enfermedades	Opciones de control químico Opciones de control orgánico Manejo integral de parcelas	Todas las opciones probadas contra el testigo (tratamiento tradicional del productor), presentaron efectividad con menor incidencia de roya. Para los orgánicos 4 a 5 aplicaciones de caldo bordeles con control de ph del agua permitió control adecuado de roya.
3. Mecanización para manejo de sombra	Uso de podadora telescópica mecanizada	Excelente respuesta en rendimiento, reducción de riesgos y facilidad para incrementar el aporte de biomasa al cafetal. Permite que jóvenes, hombres y mujeres tengan facilidad de realizar las labores de manejo de la sombra.
4. Regulación de sombra de árboles de servicio	Podas frecuentes (mínimo dos/año) de árboles leguminosos (<i>Inga</i> spp., <i>Erythrina</i> spp.)	Garantiza equilibrio entre entrada de luz y aporte de altos volúmenes de biomasa con alto contenido de nutrientes para los cafetales. Las sombras intermedias (35 a 45%) posibilitaron muy buenos resultados productivos. Se confirmó por estudio de tesis (Schulz 2019) que los árboles de sombra permitieron reducir vulnerabilidad y aumentar capacidad adaptativa, en comparación con fincas que no utilizaron.
5. Cortinas rompevientos	Cortinas rompeviento con especies de rápido crecimiento	En parcelas con más de tres años de establecidas garantizaron protección importante para plantaciones de café, contrario a parcelas testigo sin cortinas rompeviento.
6. Manejo selectivo de hierbas del suelo	Uso de mecanización con motoguadaña combinada con la técnica de selección de buenas coberturas	Permitió protección del suelo contra erosión, mantenimiento de humedad en periodo de sequía, aporte de materia orgánica al suelo, facilita el trabajo reduciendo esfuerzo físico, excelentes resultados.
7. Bioinsumos	Composteras y bioles elaborados en fincas	Reducción de insumos químicos sintéticos, externos a la finca. Materia orgánica de calidad mejorando la biología, química y física de los suelos.
8. Cosecha de agua y riego	Reservorios para acumulación de agua y uso en riego	En parcelas de Costa Rica las fincas que utilizaron riego mejoraron considerablemente el vigor y la productividad de los cafetales en comparación con parcelas testigos sin riego.

* 224 fincas de Costa Rica (24), El Salvador (50), Honduras (50), Guatemala (50) y Nicaragua (50)

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La red de parcelas de experimentación/validación ha permitido conocer la tendencia de afectación de la roya de las principales variedades de café resistentes promovidas en cuatro países de Centroamérica durante los años 2018 - 2019. Además, la evidencia preliminar indica que cafetales donde se realizaron prácticas de manejo integral (manejo de sombra mecanizada, fertilización y control de plagas y enfermedades), registraron un número menor de hojas dañadas por roya. Las variedades identificadas como resistentes/tolerantes con mayor incidencia de roya fueron: Villarschmor en Nicaragua (35% en el 2019); Lempira en Honduras (30%); Catimor en El Salvador (14%) y Catimor en Guatemala, con la menor incidencia (4%) en comparación al resto de países. La sistematización de buenas prácticas (innovaciones), para la adaptación al cambio climático validado en las fincas cafetaleras señala la importancia del manejo integral de cafetales para asegurar la sostenibilidad del cultivo. Los resultados del conjunto de prácticas de la red de parcelas, en los cinco países, aportan elementos de referencia para apoyar el diseño y promoción de estrategias de adaptación de fincas cafetaleras frente el cambio climático.

BIBLIOGRAFÍA

- Avelino, J; Willocquet, L; Savary, S. 2004. Effects of crop management patterns on coffee rust epidemics. *Plant Pathology* 53:541-547.
- Avelino, J; Zelaya, H; Merlo, A; Pineda, A; Ordoñez, M; Savary, S. 2006. The intensity of a coffee rust epidemic is dependent on production situations. *Ecological Modelling* 197(3):431-447. Disponible en <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304380006001360> doi <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2006.03.013>
- Avelino, J; Cristancho, M; Georgiou, S; Imbach, P; Aguilar, L; Bornemann, G; Läderach, P; Anzueto, F; Hruska, AJ; Morales, C. 2015. The coffee rust crises in Colombia and Central America (2008–2013): impacts, plausible causes and proposed solutions. *Food Security* 7(2):303-321. Disponible en <https://doi.org/10.1007/s12571-015-0446-9>
<https://link.springer.com/content/pdf/10.1007%2Fs12571-015-0446-9.pdf> doi [10.1007/s12571-015-0446-9](https://doi.org/10.1007/s12571-015-0446-9)
- Bock, KR. 1962. Seasonal periodicity of coffee leaf rust and factors affecting the severity of outbreaks in Kenya Colony. *Transactions of the British Mycological Society* 45(3):289-300. Disponible en <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0007153662800680> doi [https://doi.org/10.1016/S0007-1536\(62\)80068-0](https://doi.org/10.1016/S0007-1536(62)80068-0)
- Boudrot, A; Pico, J; Merle, I; Granados, E; Vilchez, S; Tixier, P; Filho Ede, M; Casanoves, F; Tapia, A; Allinne, C; Rice, RA; Avelino, J. 2016. Shade Effects on the Dispersal of Airborne *Hemileia vastatrix* Uredospores. *Phytopathology* 106(6):572-80. Disponible en <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/26828230> doi [10.1094/PHYTO-02-15-0058-R](https://doi.org/10.1094/PHYTO-02-15-0058-R)
- Cristancho, MA; Rozo, Y; Escobar, C; Rivillas, CA; Gaitán, AL. 2012. Outbreak of coffee leaf rust (*Hemileia vastatrix*) in Colombia. *New Disease Reports* 25: doi [10.5197/j.2044-0588.2012.025.019](https://doi.org/10.5197/j.2044-0588.2012.025.019)
- Di Rienzo, J; Casanoves, F; Balzarini, M; González, L; Tablada, M; Robledo, CW. 2011. InfoStat. Córdoba, Argentina. Universidad Nacional de Córdoba.
- López-Bravo, DF; Virgínio-Filho, EdM; Avelino, J. 2012. Shade is conducive to coffee rust as compared to full sun exposure under standardized fruit load conditions. *Crop Protection* 38:21-29. doi [10.1016/j.cropro.2012.03.011](https://doi.org/10.1016/j.cropro.2012.03.011)
- R Core Team. 2015. R: A language and environment for statistical computing. In *Computing, RfS* (ed.). Vienna, Austria, R Foundation for Statistical Computing. Disponible en <http://www.R-project.org/>
- Schulz, C. J. 2019 Análisis sobre vulnerabilidad y capacidad adaptativa al cambio climático de fincas cafetaleras de Guatemala. Tesis M.Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 111 p.
- Soto-Pinto, L; Perfecto, I; Caballero-Nieto, J. 2002. Shade over coffee: its effects on berry borer, leaf rust and spontaneous herbs in Chiapas, Mexico. *Agroforestry Systems* 55(37-45).
- Villareyna, R; Virgínio Filho, E; Jones, C; Florian, E; Soto, G; Astorga, C. 2017. Acciones para fortalecer la adaptación y mitigación del cambio climático en el sector cafetalero de Costa Rica. Turrialba, Costa Rica, PRCC, PROCAGICA, USAID, UE, CATIE, IICA. 101 p. (Manual técnico para reducir la vulnerabilidad de fincas cafetaleras frente al cambio climático).
- Villarreyna Acuña, RA. 2014. Análisis de las condiciones de manejo que propiciaron el impacto de la roya (*Hemileia vastatrix*) en la zona cafetalera de los municipios de Jinotega, el Tuma-La Dalia y San Ramón, Nicaragua. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 68 p.
- Virgínio Filho, E. 2019. Impulsando la adaptación en fincas cafetaleras de cooperativas del consorcio Coocafe. Costa Rica, COOCAFE, FUNCAFOR, FUNDECOOPERACIÓN, Fondo de Adaptación. 12 p. (Informe final de validación de prácticas e intercambios).
- Virgínio Filho, E; Yamauchi, M; Bello, L; Garth, I; Russi, A; Abreu, D; Alcantara, D; Jones, C. 2019. Evaluación de las medidas de adaptación priorizadas. Costa Rica, COOCAFE-FUNDECOOPERACIÓN-FONDO DE ADAPTACIÓN. 37 p. (Proyecto de Adaptación de la Caficultura al Cambio Climático).

Reseñas de resultados del proyecto

Acciones para el fortalecimiento de capacidades y contribuciones al sector café en República Dominicana

Rolando Cerda ¹, Mirna Barrios ¹, Amadeo Escarramán², Freddy Cruz³, Luz Mañana³, Toribio Contreras³, Héctor Jiménez³, Elias de Melo Virginio Filho⁴

RESUMEN

El sector café de la República Dominicana se encuentra en crisis debido al ataque plagas y enfermedades, elevados costos de producción, condiciones climáticas adversas y limitantes de integración de los actores de la cadena. Una gran parte de los caficultores (70%) han empezado a rehabilitar sus cafetales y/o renovarlos con variedades resistentes a la roya, pero necesitan más capacitación y entrenamiento para asegurar la recuperación de la producción. El INDOCAFE, el CATIE y el IICA (PROCAGICA-RD), se aliaron con el objetivo de desarrollar capacitaciones (modelo ZIG-ZAG) para técnicos extensionistas, y establecer “fincas de aprendizaje” como sitios para investigación participativa, enseñanza y demostración con productores y sus familias. Las acciones de dicha alianza contribuyeron efectivamente al abordaje de los problemas técnicos enfrentados por los caficultores, lo cual es de gran importancia para el afianzamiento de estrategias de mejoría técnica y profesionalización del sector café dominicano.

Palabras clave: fincas de aprendizaje, investigación participativa, familias cafetaleras.

ABSTRACT

The coffee sector in the Dominican Republic is in crisis due to attacks by pests and diseases, high production costs, adverse weather conditions and limitations on the integration of the chain actors. A large part of the coffee growers (70%) have begun to rehabilitate their coffee plantations and / or renew them with varieties resistant to coffee rust, but they need more teaching and training to ensure the recovery of the production. INDOCAFE, CATIE and IICA (PROCAGICA-RD) joined forces with the objective of developing training (model ZIG-ZAG) for extension technicians, and establishing “learning farms” as sites for participatory research, teaching and demonstration with producers and their families. The actions of this alliance effectively contributed to addressing the technical problems faced by coffee growers, which is of great importance for the consolidation of strategies for technical improvement and professionalization of the Dominican coffee sector.

Keywords: learning farms, participatory research, coffee families.

INTRODUCCIÓN

El sector café de la República Dominicana se encuentra en crisis debido al ataque plagas y enfermedades, elevados costos de producción, condiciones climáticas adversas y limitantes de integración de los actores de la cadena, lo cual ha provocado un manejo subóptimo o incluso el abandono de cafetales. Gracias a proyectos de apoyo a la producción, 70% de los caficultores han empezado a rehabilitar sus cafetales y/o renovarlos con variedades resistentes a la roya. Sin embargo, tanto técnicos como productores necesitan mejorar sus conocimientos y habilidades para manejar sistemas agroforestales de café, que además de productivos, sean resilientes ante eventos adversos. Para esto, el Instituto Dominicano del Café (INDOCAFE), el Centro

Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE) y el Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA), organismos partícipes del Programa de Gestión Integral de la roya del Café en República Dominicana (PROCAGICA-RD), se aliaron con el objetivo de desarrollar capacitaciones (modelo ZIG-ZAG) para técnicos extensionistas, y establecer “fincas de aprendizaje” como sitios para investigación participativa, enseñanza y demostración con productores y sus familias. Además, se desarrollaron talleres para identificar las especies arbóreas más adecuadas para diversificar cafetales y para identificar las necesidades de investigación prioritarias en el sector café dominicano.

1 CATIE-Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, Costa Rica

2 IICA/PROCAGICA-Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura/Programa Centroamericano de Gestión Integral de la Roya del Café, República Dominicana

3 INDOCAFE-Instituto Dominicano del Café, República Dominicana

4 CATIE/PROCAGICA/IICA/UE, Costa Rica

METODOLOGÍA

Capacitaciones con el modelo ZIG-ZAG

Este es un modelo que consiste en realizar talleres cada dos o tres meses, en cada uno de los cuales (al menos dos días), se realiza una exposición teórica del por qué, cómo y cuándo implementar una determinada práctica en el sistema de producción, y luego, una sesión práctica en campo para aprender viendo y haciendo (Staver 2004). Posteriormente, el personal técnico trabaja con los productores los temas técnicos usando metodologías participativas. Al haber varios encuentros durante el año, permite la retroalimentación entre instructores y técnicos sobre los aprendizajes y seguimiento constante a los trabajos de los productores y sus familias. En el marco de esta alianza, se desarrollaron nueve eventos de capacitación a técnicos y dos talleres con actores del sector café desde noviembre de 2018 hasta noviembre 2019.

Los temas prioritarios que se desarrollaron con el modelo ZIG-ZAG en República Dominicana fueron: diseño y

establecimiento de fincas de aprendizaje y toma de datos; diagnóstico y diseño de sistemas agroforestales; manejo integrado de plagas; balance de nutrientes-fertilización y regulación de sombra del dosel.

Fincas de aprendizaje

Los conocimientos y habilidades adquiridos en los talleres se plasmaron en el establecimiento de fincas de aprendizaje distribuidas estratégicamente en las zonas productoras de café. En cada finca se establecieron cuatro lotes para resaltar diferentes aprendizajes (35 x 35 m cada uno). El lote 1 se enfocó en el manejo integral; aquí se hicieron todas las prácticas relacionadas con los temas prioritarios; lote 2 aquí se realizó el remanejo agronómico, enfocado en prácticas para beneficio de los cafetos; lote 3 con actividades dirigidas al manejo de sombra, donde intervinieron solamente musáceas/arbustos/árboles/palmas para mejorar la sombra; y el lote 4 fue el testigo. La Figura 1 representa de manera sencilla las acciones que se establecieron en cada finca de aprendizaje.

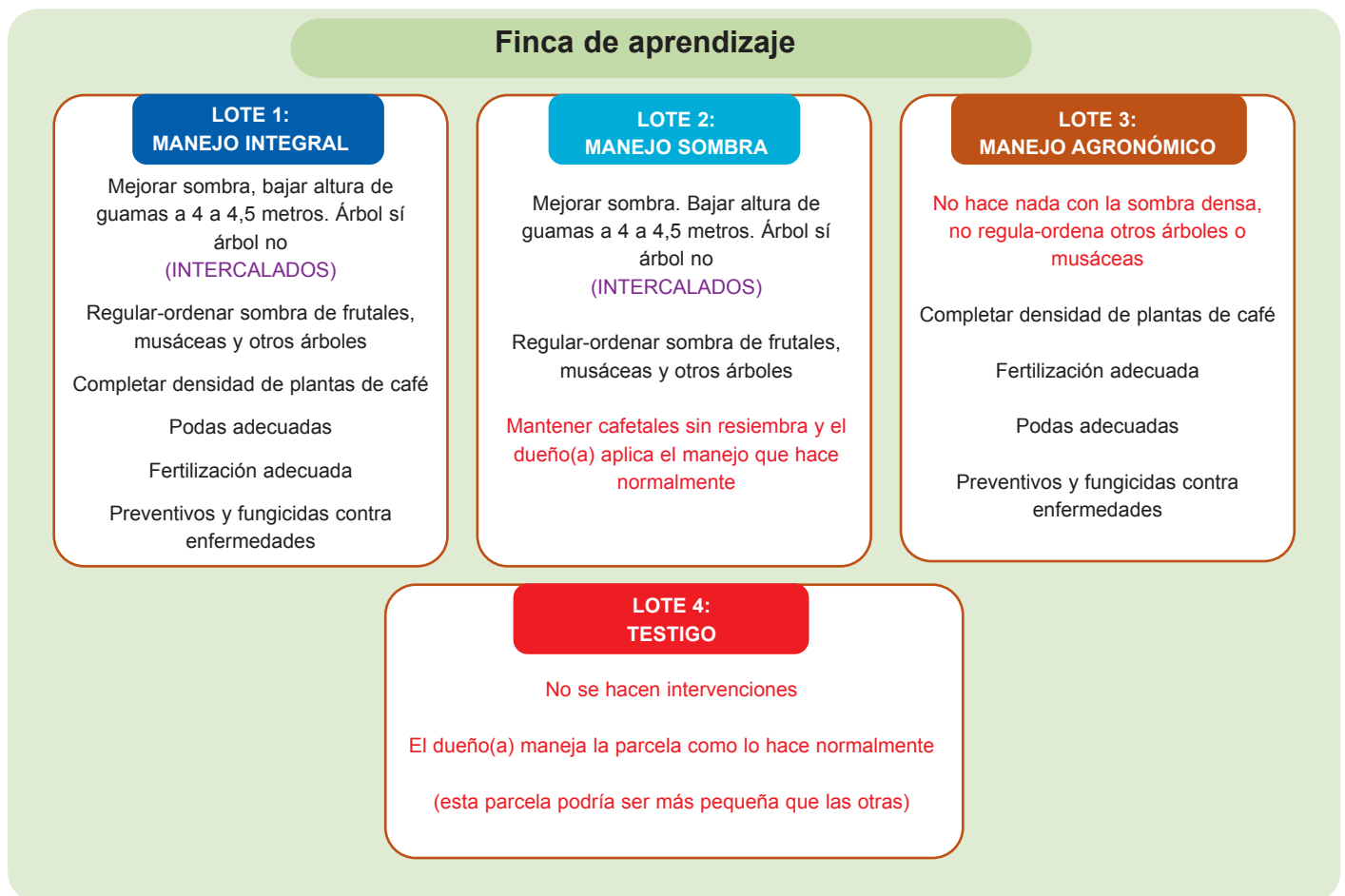


Figura 1. Intervenciones en los lotes de cada finca de aprendizaje cultivada de café en República Dominicana. Programa CATIE-IICA-PROCAGIA-UE

Las evaluaciones dentro de las fincas las realizaron técnicos y estudiantes, quienes hicieron mediciones sobre rendimientos, incidencias de plagas, sombra, frecuencia de aplicación de prácticas y beneficios y costos de los lotes. Los datos se registraron en una base de datos centralizada en INDOCAFE (Figura 2).

Talleres con actores clave del sector café dominicano

Se organizaron dos talleres centralizados. El primero fue un taller de consulta realizado en marzo 2019 al que asistieron 20 personas representantes de 13 organizaciones: Centro para el Desarrollo Agropecuario y Forestal (CEDAF), Fundación Reddom, Instituto Dominicano de Investigaciones Agropecuarias y Forestales (IDIAF), The Nature Conservancy (TNC), Unidad Técnica Ejecutora de Proyectos de Desarrollo Agroforestal (UTEFDA), Junta Agroempresarial Dominicana (JAD), Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARENA), Universidad Nacional Evangélica (UNEV), Universidad ISA (UNISA), Universidad Autónoma de Santo Domingo-Facultad de Ciencias Agronómicas y Veterinarias (UASD-AGROVET), Universidad Nacional Pedro Henríquez Ureña (UNPHU), Fondo Pro Naturaleza (PRONATURA) y la JAD. Con los representantes de estas organizaciones se elaboró una lista de las especies de árboles más promisorias para enriquecer los doseles de sombra de cafetales por cada región cafetalera del país.

El segundo taller de consulta se realizó en agosto 2019 y contó con la asistencia de representantes de

productores de café, IDIAF, Instituto Nacional de Administración Pública (CONIAP), INDOCAFE, Instituto de Innovación en Biotecnología e Industria (IIBI), MARENA y UTEFDA: Conjuntamente con ellos se identificaron las principales necesidades/líneas de investigación para mejorar la caficultura dominicana en las áreas agronómica-agroforestal, calidad y comercialización.

RESULTADOS

Los resultados del proceso con la alianza INDOCAFE, el CATIE y el IICA (PROCAGICA-RD) fueron:

- Un total de 50 técnicos(as) del INDOCAFE adquirieron nuevos conocimientos y habilidades sobre temas prioritarios en agronomía y agroforestería con café, y los han transmitido, indirectamente, a otros 40 técnicos. Estos(as) técnicos aplicaron lo aprendido en su trabajo diario y brindaron asesoría a familias cafetaleras.
- Se han establecido más de 30 fincas de aprendizaje distribuidas en todas las regiones cafetaleras del país. El personal técnico fue encargado de dar seguimiento al manejo propuesto en cada lote y levantaron los datos de variables clave (rendimiento, plagas y enfermedades, sombra, etc.). Se espera que en cuanto se aprecien las diferencias entre los lotes, los resultados o cambios se compartan con otros técnicos y productores para observar la efectividad de la práctica y socializar las experiencias.



Figura 2. Técnicos del INDOCAFE intercambiando ideas, planificando mediciones y haciendo diagnósticos en lotes de fincas cafetaleras de aprendizaje en República Dominicana. Fotos: Equipo técnico INDOCAFE.

- El INDOCAFE alimenta una base de datos donde se va anotando la información de las actividades y datos de desempeño de los lotes de las fincas de aprendizaje. Por ejemplo, diagnóstico productivo en todas las fincas, monitoreo de plagas y enfermedades, registro de producción, desarrollo del plan de manejo de cada finca de acuerdo con las condiciones de cada lugar y otros. A futuro, en un corto plazo, se espera producir una publicación técnica con los hallazgos en las fincas de aprendizaje.
- Entre 2019 y 2020, la Escuela de Posgrado del CATIE ha formado al menos cinco técnicos del INDOCAFE que regresaron a su país con un grado de maestría. Estas personas constituyen un recurso humano importante que potenciará las acciones de innovación, extensión e investigación del INDOCAFE. Se espera que estos profesionales, al regresar a República Dominicana, se hagan cargo del seguimiento, registro y análisis más detallados de los datos de las fincas de aprendizaje, con acompañamiento de expertos CATIE.
- Se ha elaborado una “Guía para el diagnóstico - diseño – rediseño y manejo del dosel de sombra en cafetales en la República Dominicana” (Cerdea *et al.* 2020). Este es un documento que provee las explicaciones técnicas y las herramientas (formularios) sencillas para llevar a cabo la mejora de los sistemas agroforestales. Se espera que el personal técnico, estudiantes, productores y otros usuarios, apliquen esta guía en sus trabajos de extensión y capacitación y en sus propias fincas.
- La lista de especies más adecuadas para el dosel de cafetales, para cada región cafetalera, se encuentra en la guía mencionada en el anterior punto.
- Se lograron identificar necesidades de investigación por parte de los actores clave (Cuadro 1).

Cuadro 1. Líneas de investigación prioritarias del sector café en República Dominicana

Líneas de investigación	Instituciones que deberían participar	Posibles fuentes de financiamiento	Impactos esperados
Caracterización agroclimatológica de las zonas cafetaleras y las prácticas sostenibles en los diferentes sistemas	<ul style="list-style-type: none"> - IDIAF, IIBI - INDOCAFE - Oficina Nacional de Meteorología (ONAMET), Consejo Nacional de Investigaciones Agropecuarias y Forestales (CONIAF), - Ministerio de agricultura de la República Dominicana, - CATIE, - MARENA 	Gobierno central Cooperación internacional	Conocimiento de la variabilidad y cambio climático en República Dominicana
Desarrollo de nuevos modelos agroforestales para la producción de café adaptados al cambio climático	<ul style="list-style-type: none"> - INDOCAFE - IDIAF - IICA - CATIE - IIBI 	<ul style="list-style-type: none"> - Ministerio de agricultura, - World Coffee Research (WCR), - Ministerio de Educación Superior, Ciencia y Tecnología (MESCYT), - CONIAF, - Fondo Nacional de Innovación y Desarrollo Científico-Tecnológico (FONDOCYT) 	Incremento de rendimientos Reducción de costos
Selección y desarrollo de nuevas variedades de café resistentes a plagas y adaptadas al clima de las zonas cafetaleras	<ul style="list-style-type: none"> - IIBI - IDIAF - CONIAF - INDOCAFE - OPC 	FONDOCYT Cooperación internacional	Mejora de la producción y productividad, resistencia a plagas y reducción de costos
Evaluación de la calidad de las nuevas variedades y su conexión con los mercados	<ul style="list-style-type: none"> - IIBI - IDIAF - CONIAF - INDOCAFE - OPC 	FONDOCYT Cooperación internacional Gobierno	Mayores ingresos para los productores Mejor visibilidad del café dominicano con nuevos perfiles

Líneas de investigación	Instituciones que deberían participar	Posibles fuentes de financiamiento	Impactos esperados
Impacto de las políticas socioeconómicas y ambientales en los medios de vida de las zonas cafetaleras	INDOCAFE, universidades, IICA, IDIAF, CONIAF, ONG, industria cafetalera, IIBI, CATIE	- Ministerio agricultura - WCR - MESCyT - CONIAF - FONDOCYT	Mejora en calidad de vida e ingresos de familias productoras Mejor integración en producción sostenible y conservación de la naturaleza
Análisis socioeconómico de sistemas diversificados viables y de sostenibilidad ambiental			Conocimiento actualizado de la situación del café

Además de las líneas de investigación, los representantes de las organizaciones identificaron que la sistematización de experiencias exitosas, la validación y transferencia de tecnología, educación y empoderamiento de los agricultores para usar prácticas adecuadas al contexto del cambio climático, son aspectos relevantes que pueden contribuir al desarrollo de la caficultura dominicana. En este sentido, otras experiencias exitosas en América Central han reafirmado la importancia de los procesos participativos de validación de prácticas sostenibles en fincas cafetaleras de aprendizaje (Haggar 2005).

CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS

El objetivo principal de la alianza INDOCAFE, CATIE e IICA (PROCAGICA-RD), fue la de fortalecer los conocimientos sobre el diseño y manejo de los sistemas agroforestales de café que ofrezcan servicios ecosistémicos de provisión (buenos rendimientos de café, frutas, madera, etc.), de regulación (de plagas, secuestro de carbono), soporte (biomasa y suelos) y de cultura (espacio de intercambio familiar/comunitario). Las acciones desarrolladas contribuyeron a fortalecer las capacidades del INDOCAFE y de los productores y productoras en estos temas.

La mayoría de los sistemas de producción de café en República Dominicana están asociados con árboles de sombra y otros cultivos; sin embargo, el manejo del espacio y de las interacciones entre los especímenes no ofrecen una optimización de los recursos agua, suelo y nutrientes, por lo que se ve afectada la productividad. Por esta razón es tan importante la implementación de las fincas de aprendizaje junto con los técnicos y la transferencia de tecnologías a los productores. Las acciones contribuyeron efectivamente al abordaje de los problemas técnicos enfrentados por los caficultores, apoyando a los actores en la adopción y aplicación de

tecnologías que ayudan a la adaptación, mitigación y reducción del riesgo en las zonas cafetaleras del país.

De igual manera, la alianza y especialmente el trabajo de PROCAGICA-RD, ha aumentado las capacidades de los técnicos del INDOCAFE en lo referente al manejo agroforestal de los sistemas de producción. Se ha fortalecido la red de asistencia técnica de este organismo, impactando directa e indirectamente al menos a 90 extensionistas, quienes han sido capacitados en modelos sostenibles de producción de café y técnicas de extensión y capacitación para brindar una asistencia técnica con mayores herramientas.

Ya que los sistemas de producción están en franca recuperación debido a la rehabilitación/renovación de los cafetales, es de suma importancia continuar desarrollando las actividades en las fincas de aprendizaje junto con los productores y realizar eventos en los cuales los técnicos no solo intercambien experiencias en la implementación de los trabajos, sino también en la actualización de nuevas técnicas.

El acompañamiento de instituciones como el CATIE y el IICA, así como el apoyo del PROMECAFE, puede ser de gran importancia en el afianzamiento de estrategias de mejora técnica y profesionalización del sector café dominicano.

BIBLIOGRAFÍA

- Cerda, R; Barrios, M; Orozco, L; Escarramán, A. 2020. Guía para el diagnóstico- diseño-rediseño y manejo del dosel de sombra en cafetales en la República Dominicana. CATIE, IICA, UE, INDOCAFE. 37 p. (Sin publicar).
- Haggar, J. 2005. Manejo ecológico de los cafetales en Centro América. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 24 p. (Serie síntesis divulgativa).
- Staver, C. 2004. MIP en manos de familias rurales. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 96 p. (Serie técnica. Informe técnico no. 334).

Reseñas de resultados del proyecto

Fortalecimiento de capacidades a extensionistas y familias productoras en el marco del Programa Centroamericano de Gestión Integral de la Roca del Café (CATIE-PROCAGICA-IICA-UE)

Bayron Medina¹, Elias de Melo Virginio Filho², Napoleón Matute³, Carlos Fonseca⁴, Mario E. Chocooj⁵, Rigoberto Martínez⁶, Roger Bolaños⁷, René León Gómez⁸

RESUMEN

Durante los años 70s y 80s, el extensionismo rural ofrecía su oferta de capacitación para productores de granos básicos, algunos monocultivos, café y la ganadería. Sin embargo, esta extensión o transferencia tecnológica agropecuaria fue debilitándose a finales de los 80s. De ahí que se hizo necesario un reforzamiento de las capacidades técnicas de las instituciones orientadas a los pequeños y medianos productores y al mejoramiento de vínculos entre los sistemas de innovación agrícola.

Ante los retos y desafíos actuales que enfrenta la caficultura a nivel mundial, se requirió de la oportuna aplicación de instrumentos y estrategias acordes a las realidades de los países de la región en el corto y mediano plazo. Es ahí donde el Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), incorpora este fortalecimiento dentro de sus iniciativas de extensión en cada uno de sus programas, entre ellos el Programa Centroamericano de Gestión Integral de la Roca del Café (PROCAGICA).

Dicho programa tuvo como objetivo el beneficio de miles de caficultores que enfrentaban el reto de producir desafiando condiciones adversas, a través de la oportuna aplicación de instrumentos y estrategias acordes a las realidades de los países de la región. Este programa buscó evitar el deterioro de la investigación y asistencia

técnica y propuso el desarrollo y compartir las nuevas tecnologías con familias productoras como un pilar fuerte de acciones colaborativas entre el sector cafetalero y las políticas públicas.

El desarrollo de cursos para la formación de extensionistas de los entes nacionales, así como la elaboración, publicación y distribución de materiales de extensión fueron acciones claves de PROCAGICA. Dichas acciones se lograron a través de mecanismos de capacitación presencial, semipresencial y de plataformas virtuales y el mantenimiento del vínculo de comunicación y seguimiento constante de los procesos de investigación, capacitación y transferencia de tecnología. Para esto se contó con la participación de profesionales, técnicos de las instituciones de café de la región, del sector público, académico y de otras organizaciones de caficultores.

Finalmente, la acción colaborativa entre el PROCAGICA, las instituciones nacionales de café, el PROMECAFE y las instituciones de apoyo, entre ellas IICA, CATIE y CIRAD, generaron experiencias de referencia que brindaron insumos importantes a ser retomados en los planes y actividades institucionales.

Palabras clave: implementación participativa, café y clima.

1 CATIE-PROCAGICA-IICA-UE, Guatemala; bmedina@catie.a.cr

2 CATIE-PROCAGICA-IICA-UE, Costa Rica

3 IHCAFE-Instituto Hondureño del Café, Honduras

4 ICAFE-Instituto del Café, Costa Rica

5 ANACAFE-Asociación Nacional del Café, Guatemala

6 CENTA CAFÉ, El Salvador

7 INTA-Instituto Nicaragüense de Tecnología Agropecuaria, Nicaragua

8 PROMECAFE -Programa Cooperativo Regional para el Desarrollo Tecnológico y Modernización de la Caficultura, Guatemala

ABSTRACT

During the 70s and 80s, rural extensionism made its offer of training for producers of basic grains, some monocultures, coffee and livestock. However, this extension or transfer of agricultural technology began to weaken in the late 1980s. Hence, it became necessary to strengthen the technical capacities of institutions aimed at small and medium producers and to improve the links between agricultural innovation systems.

With the current challenges that the world coffee industry is facing, the timely application of instruments and strategies is required in accordance with the realities of the countries of the region in the short and medium term. This is where the Tropical Agricultural Research and Higher Education Center (CATIE) incorporates this strengthening into its extension initiatives in each of its programs, including the Central American Program for the Comprehensive Management of Coffee Rust (PROCAGICA).

This program aimed to benefit thousands of coffee growers who faced the challenge of producing in defiance of adverse conditions, through the timely application of instruments and strategies in accordance with the realities of the countries of the region. This program sought to avoid the deterioration of research and

technical assistance, and proposed the development and sharing of new technologies with producer families as a strong pillar of collaborative actions between the coffee sector and public policies.

The development of courses for the training of extension agents of the national entities, as well as the preparation, publication and distribution of extension materials were key actions of PROCAGICA. These actions were achieved through face-to-face and blended training mechanisms and through virtual platforms and the maintenance of the communication link and constant monitoring of the research, training and technology transfer processes. For this, we had the participation of professionals, technicians from the region's coffee institutions, the public sector, academia and other organizations of coffee growers.

Finally, the collaborative action between PROCAGICA, national coffee institutions, PROMECAFE and support institutions, including IICA, CATIE and CIRAD,

They generated reference experiences that provided important inputs to be taken up in institutional plans and activities.

Keywords: participatory implementation, coffee and climate.

INTRODUCCIÓN

Antecedentes de la extensión e investigación y aportes del CATIE

Durante los años 70s y 80s, el extensionismo rural ofrecía su oferta de capacitación, asistencia técnica, provisión de tecnologías y programas de crédito a la promoción de actividades agropecuarias, donde los granos básicos, algunos monocultivos, café y la ganadería eran los componentes productivos principales.

En los últimos 30 años, la agenda rural ha experimentado cambios con mucha mayor celeridad que la capacidad de reacción de las estrategias de extensión de las instituciones del estado, de organizaciones no gubernamentales y empresas privadas en cuanto a la innovación de enfoques y métodos de extensión para servir con prontitud y eficiencia ante esos cambios y nuevas demandas rurales.

La política agrícola centroamericana recomienda que se provea un reforzamiento de las capacidades técnicas de las instituciones orientadas a los pequeños y medianos productores y el mejoramiento de vínculos entre los sistemas de innovación agrícola centroamericanos, por lo que se deben buscar orientaciones y modelos de extensión que puedan contribuir a mejorar las competencias y capacidades entre poblaciones, así como los territorios más vulnerables por parte de las instituciones (FAO 2011).

El término “asistencia técnica” se refiere normalmente a asesorías especializadas, netamente técnico-productivas, dirigidas a productores agropecuarios que pueden ser industriales, grandes, medianos, pequeños o familiares, o grupos cooperativistas. Por otro lado, la extensión es un instrumento para fortalecer la capacidad de autoaprendizaje e innovación permanente del sector rural agrícola hacia la competitividad y la sostenibilidad.

El Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), es una institución centroamericana de investigación y educación superior que ha trabajado con liderazgo en sistemas agroforestales en café y cacao durante más de 75 años.

Las experiencias y los enfoques de metodologías de investigación, formación de recursos humanos a nivel de maestría y capacitación mediante cursos cortos y otras modalidades de entrenamiento, constituyen un indudable legado de continuo aprendizaje (Budowski 1994).

Además, el CATIE alberga bancos de germoplasma de acceso público y mundialmente importantes para café y cacao. La mayoría de los expertos técnicos en café en la región se han formado en CATIE en algún momento de su carrera profesional. Este organismo tiene personal presente en todos los países del área de PROMECAFE y conecta la investigación con el desarrollo ya que ambos responden a las necesidades institucionales de café y de los ministerios de agricultura de cada país miembro.

Actualmente, alrededor del 35% de la investigación del CATIE se centra en el café y el cacao, incluidos el mejoramiento genético, la propagación, los sistemas agroforestales, las plagas y enfermedades, la agronomía y los estudios sociales y económicos. El CATIE colabora en el mejoramiento genético y la propagación del café con varios actores del sector privado a nivel mundial (Wiegel *et al.* 2020).

Retos de la caficultura y la necesidad de innovación tecnológica

La caficultura mundial, enfrenta retos y desafíos constantes (variabilidad climática, la inestabilidad en el precio del café, la incidencia de plagas y enfermedades, el endeudamiento del sector, entre otros), que tienen repercusión sobre la producción y productividad en áreas de cultivo y que distorsionan el mercado y generan un impacto socioeconómico negativo. Esta situación requiere de la oportuna aplicación de instrumentos y estrategias acordes a las realidades de los países de la región en el corto y mediano plazo.

Las acciones requieren de compromiso y decisión política de instituciones que ejercen la gobernanza sobre el sector cafetalero de cada país (ministerios de agricultura e instituciones especializadas del sector café), así como de la participación de los actores nacionales y regionales de la cadena de valor del café. En este sentido, Abril (2017), en un estudio realizado en el marco de PROCAGICA indica retos que deben ser enfrentados a fin de evitar el deterioro de la investigación y asistencia técnica y propone el desarrollo y compartir tecnologías nuevas con familias productoras como un

pilar fuerte de acciones colaborativas entre el sector cafetalero y las políticas públicas. Destaca, además, que para el sector café “*la falta de acceso a recursos financieros está haciendo casi imposible ser resiliente ante muchos cambios*”, entre ellos los determinados por alteraciones climáticas.

La aplicación de buenas prácticas agrícolas para el manejo integrado del cultivo, se convierte en una herramienta indispensable para el manejo de los riesgos y dependerá de la aplicación de estrategias integrales que implican fomentar la innovación, incrementar el conocimiento a través de extensión y fortalecimiento de capacidades a productores para que mejoren sus sistemas productivos, incrementen su resiliencia y puedan asegurar una mejor sustentabilidad.

La innovación es un proceso acelerado de transformación, con cambios en la forma de hacer ciencia y tecnología. Por ejemplo, las nuevas tecnologías están asociadas a la conectividad y la disponibilidad de dispositivos móviles que contribuyen, vía reducción de costos y acercamiento del medio rural, igualando la oportunidad de formación entre territorios al facilitar el acceso a la información y difusión de resultados dentro y fuera de las propias instituciones, lo que permite una mejor interacción con otras disciplinas, como el mejoramiento de variedades, su genómica, marcadores moleculares y otras técnicas de análisis cuantitativo, con nuevas opciones y metodologías más ágiles antes de someterlas a pruebas a campo.

Otro ejemplo es el uso de sensores de cultivos conectados a dispositivos móviles que permiten evaluar la necesidad



Práctica de campo con técnicos de Nicaragua, 2019. Foto: F. Escorcía

de fertilización a escalas menores y mucho más precisas, así como, estrategias virtuales de difusión de técnicas de manejo ajustadas por localidad/región, lo que permite incrementar significativamente el manejo integrado de plagas y enfermedades y el uso de sensores para micro administración.

Las disciplinas involucradas, que constituyen la base científico-disciplinaria de la investigación tradicional, van cambiando con el advenimiento de nuevas biotecnologías; aplicaciones comerciales emergen directamente de la investigación “básica”, obligando a una redefinición de los énfasis entre el trabajo de laboratorio y de campo, con dispositivos y aplicaciones cada vez más baratos y cotidianos para que los nuevos conocimientos y las tecnologías lleguen masivamente a quienes las necesitan.

Este nuevo “clima” requiere de cambios básicos en los procesos de desarrollo de recursos humanos y en la naturaleza de los vínculos científicos y de información de los cuales dependen los institutos de investigación, así como de relaciones más estrechas y cooperativas con los centros de investigación en las universidades, los institutos públicos y la industria y con nuevos actores, como las telefónicas y los desarrolladores de *software*, que pasan a ser componentes centrales del proceso de desarrollo y difusión (Trigo y Elverdin 2019).

EL PROCAGICA Y LA GESTIÓN DEL CATIE

El Programa Centroamericano de Gestión Integral de la Roya del Café (PROCAGICA), beneficia a miles de caficultores que enfrentan el reto de producir desafiando plagas, condiciones climáticas adversas, escaso equipamiento y bajos precios del café en el mercado internacional. PROCAGICA tiene una vigencia de 2016-2021 y un financiamiento de US\$15 millones de la Unión Europea. Este Programa es liderado por el IICA en coordinación sinérgica con CATIE, el Consejo Agropecuario Centroamericano (CAC) y el Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement, (CIRAD, por sus siglas en francés). Este Programa regional ha realizado importantes contribuciones a la renovación de los cafetales, incluyendo asistencia técnica y capacitación de alta calidad, herramientas, insumos y variedades para apoyar la implementación de diversos modelos agroforestales para la renovación del café (Wiegel *et al.* 2020).

CATIE lideró dentro del Programa, más de 200 parcelas experimentales en cuatro países que generaron evidencia importante sobre la incidencia de plagas

y enfermedades, el manejo integrado de roya y su productividad, la rentabilidad, así como otras características como la sombra de los diferentes diseños de cafetales. Esta información permitió unificar esfuerzos en la renovación a mayor escala y el mantenimiento de una estrategia sostenible para la gestión integrada contra la roya. PROCAGICA también trabajó en el desarrollo de herramientas de tecnología de información y comunicación (TIC), para difundir alertas tempranas para plagas y enfermedades, realizar evaluaciones rápidas de vulnerabilidad en la finca y guiar los planes de adaptación, en el desarrollo de cursos para la formación de extensionistas de los entes nacionales, así como en la elaboración, publicación y distribución de materiales de extensión.

En el monitoreo de la roya se promovió el fortalecimiento de las capacidades técnicas de los países miembros en la región, a través de mecanismos de capacitación presencial, semipresencial y de plataformas virtuales, manteniendo vínculos de comunicación y seguimiento constante de los procesos de investigación, capacitación y transferencia de tecnología sobre caficultura y manejo de la roya en los diferentes países de la región.

RESULTADOS

Servicios de investigación y extensión de las instituciones en café

Los servicios de investigación, extensión y asesoramiento en caficultura son esenciales para aumentar la productividad y mejorar la sostenibilidad en las regiones cafetaleras pues son responsables de la transferencia de tecnología agrícola y administrativa a productores de café. Es importante garantizar la innovación y mejora continua a través de programas de investigación, extensión y educación.

Por ello, cada institución parte de PROCAGICA ajustó su mandato institucional a las circunstancias y necesidades de los productores. Esto se realizó a nivel nacional y/o regional por medio de oficinas regionales o sub-regionales, en la mayoría de los casos con base en ejes estratégicos de productividad que permitieron la transferencia de tecnología fundamentada en resultados de diversas investigaciones científicas realizadas a lo largo de los años referentes a la producción cafetalera y sus diferentes fases del cultivo y postcosecha. En este contexto, el programa CATIE-PROCAGICA-IICA-UE desarrolló una serie de eventos con el propósito de contribuir al fortalecimiento de capacidades en los países (cuadros 1 y 2).

Cuadro 1. Eventos de capacitación presencial facilitados por CATIE-PROCAGICA-IICA-UE en coordinación con personal de IICA-PROCAGICA en países centroamericanos y República Dominicana, en el periodo 2018 a febrero 2020

País	No de eventos	Participantes por género		Total participantes
		Femenino	Masculino	
Capacitaciones en Centroamérica 2018				
Guatemala	3	14	46	60
El Salvador	2	19	42	61
Honduras	4	34	80	114
Nicaragua	4	80	266	346
Costa Rica	1	2	18	20
Total	14	149	452	601
Capacitaciones en Centroamérica y República Dominicana 2019				
Guatemala	9	26	182	208
El Salvador	11	106	415	521
Honduras	3	43	56	99
Nicaragua	3	47	63	110
Costa Rica	1	8	13	21
República Dominicana	1	5	29	34
Total	28	235	758	993
Capacitaciones en Centroamérica 2020				
Costa Rica	1	8	17	25
Total	1	8	17	25
Totales 2018-2020	43	392	1227	1619

Los modelos de atención y asesoría técnica que se brindaron a los caficultores tuvieron un énfasis agronómico, desde la siembra a la cosecha, donde el manejo integrado del cultivo, el manejo integrado de suelos y su fertilidad, el manejo integrado de plagas y enfermedades y el mejoramiento genético fueron claves. Pero además se consideraron otros temas tales como gestión administrativa, manejo postcosecha y calidad, ambiente, fortalecimiento organizacional, diversificación de ingresos, capacitación, apoyo crediticio, mercadeo y sistemas de información geográfica. En el Cuadro 2 se indican los diferentes temas considerados en los eventos de capacitación.

Debido a limitaciones de recursos financieros en la mayoría de las instituciones para ampliar personal y cobertura, se buscó optimizar la asesoría en las unidades productivas individuales y organizadas intentando utilizar metodologías que permitieran incrementar la cobertura geográfica existente de asistencia técnica en las regiones cafetaleras, con la meta de incrementar la eficiencia y productividad de estas unidades para mejorar así y asegurar el nivel de satisfacción del caficultor con un servicio de asistencia técnica de calidad. Durante la pandemia del COVID-19 se establecieron protocolos y se adecuó la asesoría con el uso e implementación de herramientas virtuales.

Además de los hallazgos a nivel de país, se realizó un análisis regional de similitudes y diferencias clave entre sectores para identificar oportunidades regionales en la promoción de cambios a nivel de sistema ya fuera trabajando con actores o plataformas que operaran entre países o entre sectores, o aprendiendo de sectores más avanzados para compartir la información con sectores menos avanzados. En este sentido, se resaltan los siguientes resultados:

- Las actividades de capacitación y transferencia de tecnología se desarrollaron y fueron dirigidas a beneficiarios del Programa, principalmente productores del área de influencia y técnicos y profesionales de las instituciones de café de países de la región, del sector público, académico y de otras organizaciones de caficultores.
- Para lograr la participación fue esencial la construcción de relaciones de confianza, propiciando permanentemente el intercambio de conocimientos generales y del aprendizaje de las buenas prácticas y lecciones aprendidas en terreno y facilitando la comunicación y articulación entre las distintas instituciones y organismos de los países de la región.

Cuadro 2. Temáticas desarrolladas durante los eventos de capacitación en el marco del Programa Centroamericano de Gestión Integral de la Roca del Café (PROCAGICA) en Centroamérica y República Dominicana

Temas PROCAGICA	El Salvador	Guatemala	Honduras	Nicaragua	Costa Rica	República Dominicana	Panamá
1. Fortalecimiento institucional. (mesas de café)	X	X	X	X			
2. Renovación de cafetales	X	X	X	X			
3. Variedades mejoradas de café	X	X	X	X			
4. Técnicas de propagación vegetativa	X	X	X	X	X	X	
5. Diversificación	X	X		X			
6. Alerta temprana		X	X				
7. MIP café	X	X	X	X			
8. Razas roya	X	X	X	X		X	X
9. Diseño y manejo de sombra	X	X	X	X	X		
10. Mecanización de la sombra	X	X	X	X	X		
11. Cambio climático	X	X	X				
12. NAMA-café	X	X	X	X	X	X	
13. Género	X	X	X				
14. Capacitación-asistencia técnica	X	X	X	X			
15. Validación participativa de innovaciones	X	X	X	X			
16. Servicios ecosistémicos	X	X	X	X			
17. Aves y abejas en cafetales	X	X	X	X			
18. Planes de resiliencia ante riesgo del cambio climático	X	X					
19. Tipologías de podas y su manejo	X	X	X	X	X		

- Un valor agregado importante fue integrar el conocimiento generado y acumulado del CATIE y entregar soluciones innovadoras al área de la capacitación, considerando las necesidades y demandas de los propios países, logrando además mantener y dar seguimiento a un plan de trabajo con actividades regionales definidas con los países en coordinación con PROMECAFE y los institutos de café de los

países. El trabajo colaborativo entre todas las instituciones vinculadas posibilitó diferentes impactos. En particular destaca la amplia cobertura lograda con las sinergias institucionales en Honduras, donde se realizó un número importante de eventos presenciales y virtuales que benefició a un público amplio (cuadros 3 y 4).

Cuadro 3. Actividades de capacitación realizadas y participantes durante el periodo 2019 y setiembre y octubre 2020 en Honduras, IHCAFE

Actividades de capacitación y transferencia	Eventos de capacitación en forma presencial (estimados)	Eventos modalidad virtual (estimados)	No. de participantes de ambas modalidades (estimado)
Cursos (cortos)	250	150	20 000
Talleres	50	50	2000
Diplomados	10	10	300
Seminarios	0	1	20 000
Simposio	2	2	3000
Giras de observación	10000	0	10 000
Giras de intercambio	0	0	0
Eventos masivos: día del caficultor	50	0	10 000
Eventos masivos: congreso de caficultura	10	0	1000
Webinar	50	50	2000
Carreras técnicas de caficultura	8	8	200
Otro (programa radial hora del café)	0	150	25 000
Total	10 430	421	93 500+



Taller con técnicos y organizaciones de productores, Nicaragua, 2017. Foto: R. Gutierrez.

Cuadro 4. Líneas temáticas de investigación y capacitación realizadas durante el período setiembre 2019/octubre 2020), caso IHCAFE, Honduras

Área temática	Temas de investigación	Implementación o importancia (%)	Temas de capacitación	Implementación o importancia (%)
Producción	Almácigos	80	Almácigos	80
	Injertación	5	Injertación	5
	Semilla	100	Semilla	100
	Renovación cafetales	100	Renovación cafetales	100
	Manejo tejido y podas	100	Manejo tejido y podas	100
Suelos y fertilización	Fertilizantes y enmiendas	100	Fertiliza y enmiendas	100
	Muestreo suelos y foliar	70	Muestreo suelos y foliar	80
	Trazo y ahoyado	50	Trazo y ahoyado	100
	Manejo de malezas	40	Manejo de malezas	40
	Conservación de suelos	70	Conservación de suelos	70
Sombra	Manejo de sombra	90	Manejo de sombra	90
Manejo integrado plagas	Broca y roya	100	Broca y roya	100
	Uso de seguro de plaguicidas	50	Uso de seguro de plaguicidas	70
	Equipo de aspersión	50	Equipo de aspersión	70
Administración	Planificación y presupuestos	20	Planificación y presupuestos	80
	Gestión organizacional	20	Gestión organizacional	20
	Certificaciones	20	Certificaciones	20
	Género y juventud	20	Género y juventud	50
Calidad de café	Beneficiado de café	80	Beneficiado de café	80
	Perfil de taza	70	Perfil de taza	70
	Manejo de subproductos	80	Manejo de subproductos	80
Comercialización	Mercados	20	Mercados	20

CONCLUSIÓN

Los desafíos enfrentados por los servicios de asistencia técnica y capacitación en América Central y República Dominicana en la temática de café son amplios. En cada país hay una dinámica particular que determina diferentes respuestas a las demandas de las familias productoras y empresas. La innovación en prácticas y en los estilos de generación y socialización de aprendizajes es determinante para poder fortalecer el sector cafetalero, desafiado permanentemente por bajos precios del producto hacia los productores y la intensificación de los fenómenos asociados al cambio climático.

La acción colaborativa entre el PROCAGICA, las instituciones nacionales de café, el PROMECAFE y las instituciones de apoyo, entre ellas IICA, CATIE y CIRAD, ha generado experiencias de referencia que brindan insumos importantes a ser retomados en los planes y actividades institucionales.

BIBLIOGRAFÍA

- Abril, E. 2017. Análisis y evaluación de los sistemas de transferencia de tecnología y materiales de extensión aplicados y usados en el manejo integral de café CATIE-PROCAGICA-IICA-UE. 55 p. (Informe final diagnóstico).
- Budowski, G. 1994. Agroforestry training and education in Central America: Learning from past experiences *Agroforestry systems* 28(1):21-26.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 2011. Buenas prácticas en el manejo de extensión en América Central. Roma, Italia. 156 p.
- Trigo, EJ; Elverdin, P. 2019. Los sistemas de investigación y transferencia de tecnología agropecuaria de América Latina y el Caribe en el marco de los nuevos escenarios de ciencia y tecnología. Santiago de Chile. Chile, FAO. 18 p. (2030 - Alimentación, agricultura y desarrollo rural en América Latina y el Caribe).
- Wiegel, J; Del Río, M; Gutiérrez, JF; Claros, L; Sánchez, D; Gómez, L; González, C; Reyes, B. 2020. Sistemas de mercado de café y cacao en las Américas: Oportunidades para apoyar la renovación y la rehabilitación. Cali, Colombia, CIAT. 161 p.

Reseñas de resultados del proyecto

Fortalecimiento de las capacidades regionales para la producción clonal de híbridos F1 de café

Francisco Mesén-Sequeira¹, Luis Diego Jiménez-Alvarado¹, Elias de Melo Virginio Filho¹, Bayron Medina², Arlene López¹, Eder Leonardo Arias³, Juan Rafael López⁴, Róger Ilich Bolaños⁵, Yisneiry Mercedes Tapia Polanco⁶, Sara Raquel Cortez Recinos⁷

RESUMEN

Técnicos y profesionales en agricultura de América Central y República Dominicana, participaron en un taller de capacitación sobre técnicas de propagación vegetativa del café en el Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), que les permitió fortalecer la renovación de cafetales en la región con variedades más resistentes a plagas, enfermedades y eventos climáticos extremos. La capacitación fue organizada de forma conjunta por el CATIE, el Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA), la Unión Europea y países del área de PROMECAFE, como parte del Programa Centroamericano de Gestión Integral de la Roya del Café (PROCAGICA). El objetivo fue enseñar, mediante charlas y prácticas, las técnicas de propagación clonal de café desarrolladas por el Banco de Semillas Forestales del CATIE, con énfasis en el enraizamiento de estaquillas. El fin era que los participantes replicaran el modelo en sus países con las variedades de interés. En Costa Rica, la técnica del enraizamiento de estaquillas ha permitido ampliar la producción de materiales híbridos y otros materiales promisorios a bajo costo. Como un producto adicional del taller, los participantes diseñaron una hoja de ruta para establecer modelos similares de propagación en cada país, o bien para fortalecer unidades de producción ya existentes. En este proceso recibieron asesoría técnica por parte de expertos del CATIE, así como apoyo financiero de parte del proyecto PROCAGICA. Se espera que las técnicas aprendidas sean de gran beneficio para el sector productor de café, que enfrenta importantes retos en la actualidad.

Palabras clave: Propagación vegetativa, renovación de cafetales, variedades mejoradas

ABSTRACT

Technicians and professionals in agriculture from Central America and the Dominican Republic participated at the Tropical Agricultural Research and Higher Education Center (CATIE) in a training workshop on vegetative propagation techniques for coffee, which contribute to the renewal of coffee plantations in the region with varieties more resistant to pests, diseases and extreme weather events. The training was organized jointly by CATIE, the Inter-American Institute for Cooperation on Agriculture (IICA), the European Union and countries in the PROMECAFE area, as part of the Central American Program for the Integrated Management of Coffee Rust (PROCAGICA). The objective was to teach through lectures and practical sessions known as “learning by doing”, the clonal propagation techniques of coffee developed by the Forest Seed Bank of CATIE, with emphasis on rooting of cuttings, so that the participants could then replicate the model in their countries with the varieties of interest. In Costa Rica, the technique of rooted cuttings has allowed to expand the production of hybrid materials and other promising materials at low costs. At the end of the workshop, participants designed a roadmap to establish similar propagation models in each country, or to strengthen existing production units. In this process they received technical advice from CATIE experts, as well as, financial support from the PROCAGICA project. The techniques learned are expected to be of great benefit to the coffee producing sector, which faces important challenges today.

Keywords: Vegetative propagation, renovation of coffee plantations, improved varieties

INTRODUCCIÓN

En el marco del seguimiento de las acciones de fortalecimiento de las capacidades institucionales en los países de PROMECAFE, el componente CATIE-PROCAGICA-IICA-UE implementó iniciativas de promoción de innovaciones claves para el fortalecimiento de la caficultura en el contexto de la crisis climática y de productividad limitada. Uno de los aspectos clave en estas iniciativas, fue el uso de materiales

genéticos altamente productivos, de buenas calidades organolépticas y preferiblemente, con mayor tolerancia a la roya del café que las variedades tradicionales (Virginio Filho y Astorga 2015). Por la naturaleza híbrida de algunos de estos materiales, por ejemplo, los híbridos F1 desarrollados por el PROMECAFE-CATIE-CIRAD e institutos nacionales de café, su multiplicación debe hacerse por métodos asexuales.

1 Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), Costa Rica

2 Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), Guatemala

3 Asociación Nacional del Café (ANACAFE), Guatemala

4 Instituto Hondureño del Café (IHCAFE), Honduras

5 Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Nicaragua

6 Instituto Dominicano del Café (INDOCAFE), República Dominicana

7 Consejo Salvadoreño del Café (CSC), El Salvador

En el CATIE se ha utilizado tradicionalmente la técnica *in vitro* de embriogénesis somática, la cual requiere laboratorios, equipos y personal especializados (Etienne-Barry *et al.* 1999). En la búsqueda de técnicas más simples y económicas para su propagación, durante los últimos cinco años se ha venido evaluando y optimizando la técnica de propagación por enraizamiento de estaquillas. Esta técnica es mucho más simple, utiliza como material de origen las plantas producidas en el laboratorio, pero logra generar múltiples copias de cada ‘planta madre’ en menor tiempo y a un costo significativamente menor, complementando así la técnica de embriogénesis somática (Mesén y Jiménez 2016; Sosa-Mora *et al.* 2019; Matamoros-Quesada *et al.* 2020). De esta forma, es posible poner a disposición del sector cafetalero materiales de altísima calidad genética, a precios accesibles. La misma técnica se puede utilizar para multiplicar cualquier otra variedad de café a partir de plántulas de semilla, por ejemplo, en casos cuando se disponga de poco material de dicha variedad.

Reconociendo la importancia de capacitar a personal profesional del sector cafetalero regional en la aplicación de estas técnicas de propagación, del 24 al 28 de febrero del 2020 se realizó en el CATIE el taller de capacitación denominado “Técnicas de propagación vegetativa de café”. El taller contó con la participación de 25 profesionales (8 mujeres) provenientes de El Salvador, Guatemala, Honduras, Nicaragua y República Dominicana (Figura 1). El evento fue financiado por el

proyecto CATIE-PROCAGICA-IICA-UE. Al final de la capacitación, los participantes elaboraron una hoja de ruta para el establecimiento de módulos de reproducción clonal en sus propios países, para lo cual recibieron asesoría técnica de parte de expertos del CATIE y apoyo financiero de parte del proyecto CATIE-PROCAGICA-IICA-UE. Con la implementación de estos módulos, se espera fomentar la multiplicación de variedades más productivas, con mayor potencial de resistencia a enfermedades y a eventos climáticos extremos, fortaleciendo así el sector cafetalero regional. Sin embargo, en el caso de que los países requieran de los materiales híbridos producidos en las distintas unidades del CATIE, pueden también solicitarlos.

Temas tratados

El taller se realizó bajo la modalidad de charlas, giras, lecturas dirigidas y prácticas “aprender haciendo” (Figura 2). Este evento brindó a los participantes un conocimiento general de las metodologías utilizadas en propagación vegetativa de café, en particular, la propagación mediante enraizamiento de estaquillas y técnicas de injertación temprana. Además, los participantes conocieron la experiencia del CATIE en programas de mejoramiento genético de café, desarrollo de sistemas agroforestales con híbridos F1 y otros materiales y el proceso de clonación inicial de los híbridos mediante embriogénesis somática (Figura 3) y su desempeño en viveros y fincas comerciales. También se realizaron dos giras donde se visitaron las empresas Gaia Artisan Coffee y cafetalera AQUIARES.



Figura 1. Participantes del taller sobre técnicas de propagación vegetativa de café provenientes de El Salvador, Guatemala, Honduras, Nicaragua y República Dominicana, febrero 2020. Foto: Tecnología de Información y Comunicación, CATIE



Figura 2. Prácticas de reproducción clonal en vivero del CATIE con participantes del taller sobre técnicas de propagación vegetativa de café, febrero 2020. Foto: Tecnología de Información y Comunicación, CATIE



Figura 3. Apertura oficial del taller sobre técnicas de propagación vegetativa de café, Turrialba, CATIE, febrero 2020. Foto: Tecnología de Información y Comunicación, CATIE

Al final del taller, cada país entregó un plan de inversión para el establecimiento de módulos para la reproducción vegetativa de café y/o para fortalecer los viveros existentes, y así optar por los fondos asignados por el proyecto CATIE-PROCAGICA-IICA-UE que, en este caso, correspondieron a US\$38 750,00 por país. A continuación se presentan las propuestas de países participantes.

El Salvador

El Salvador ha sido tradicionalmente un país dedicado al cultivo de café, teniendo hoy en día un enfoque de producción de calidad. En la actualidad, el parque cafetalero salvadoreño está constituido principalmente por un 56% del área cultivada por la variedad Borbón (79 135 ha aproximadamente) y 30% por la variedad

Pacas (41 441 ha). Las variedades Cuscatleco, Pacamara, Catisic, entre otras, representan una minoría de la producción total. La productividad de estas variedades se ha visto afectada en los últimos años principalmente por la incidencia de la roya y los bajos precios del café que, al impactar la economía de los caficultores, dificultan la reinversión en las fincas cafetaleras.

El módulo de propagación estará localizado en la Escuela Nacional de Agricultura “Roberto Quiñónez” (ENA), ubicada en el kilómetro 24 carretera a Santa Ana, San Andrés, Ciudad Arce, La Libertad; presenta un rango altitudinal de 450 a 500 msnm, precipitaciones promedio de 1800 mm anuales y temperaturas mínimas de 18°C y máximas de 32°C.

Los materiales de interés son: Esperanza, Excelencia, Centroamericano, Milenio y Marsellesa. Se estima que este proyecto permitirá la producción de 50 000 plantas anualmente.

Con este proyecto se busca sustituir los sistemas de propagación de café tradicionales sin trazabilidad por sistemas a escala masiva, fácilmente replicables y de bajo costo, enfocados principalmente en la propagación de variedades de cafés con ciertas características de interés de las familias productoras: adaptabilidad, productividad, resistencia a plagas y calidad de bebida. Además, se pretende fomentar los sistemas de propagación vegetativa en la currícula educativa de las carreras relacionadas a las ciencias agrícolas; fortalecer la capacidad del personal técnico vinculado con programas de

producción y reproducción de cafetos e implementar el establecimiento de modelos de propagación replicables en las cordilleras cafetaleras para las variedades de interés y poner a disposición de los productores variedades de café genéticamente confiables a través de tecnologías de propagación asexual.

Guatemala

Tradicionalmente, la reproducción de las plantas de café se ha realizado por medio de semilla, lo que ha representado una serie de conflictos ya que las plantas de café arábigo alcanzan hasta 12% de polinización cruzada. Tomando en cuenta el cambio climático y la demanda de diferentes sabores, aromas y otros atributos del café, se hace necesaria la creación de un plan que permita mantener germoplasmas puros de variedades de importancia para Guatemala.

La Asociación Nacional de Café (ANACAFE), por medio del Centro de Investigaciones en Café, propone el establecimiento de un centro de reproducción y capacitación con dos módulos de invernaderos de 8 m x 10 m, repartidos para jardín clonal, enraizamiento de las estaquillas y producción de almácigo en tubete, además de un área de evaluación de almácigos a campo abierto con sombra de hoja de palma. Entre los híbridos de interés están Centroamericano, Esperanza y Excelencia.

El proyecto estará ubicado en las fincas Buena Vista y Las Flores. La primera se encuentra en el municipio de San Sebastián, departamento de Retalhuleu, en la costa suroccidental de Guatemala a 450 msnm; recibe una precipitación promedio anual de 4000 mm y temperaturas promedio que van de 24 a los 28°C. La finca Las Flores se localiza en el departamento Santa Rosa, en el sur oriente de Guatemala, a 1200 msnm; recibe una precipitación promedio anual de 1500 mm y alcanza una temperatura promedio 25°C.

Con apoyo del proyecto, la meta en los primeros años (2020 y 2021) es la implementación de tres camas hidropónicas, 900 plantas madres por cama con una capacidad estimada de corte de cinco brotes por planta durante 10 meses de corte por centro de reproducción. Se estima una capacidad de reproducción de 270 000 plantas para establecer en campo definitivo; con una densidad de 4760 plantas por hectárea, se estarían renovando aproximadamente 57 hectáreas del parque cafetalero guatemalteco. ANACAFE pretende además implementar parcelas demostrativas para la validación y transferencia de tecnología de plantas producidas por

medio de reproducción vegetativa, y promover la utilización de material altamente productivo y tolerante a los nuevos retos de la caficultura.

La creación de este proyecto cumple con la necesidad de responder a la caficultura guatemalteca en aspectos de genética y renovación de cafetales establecidos por ANACAFE.

Honduras

Honduras es el primer productor de café de Centroamérica, tercero en América y quinto a nivel mundial, con una capacidad productiva de más de 10 millones de sacos exportables. El rubro del café en Honduras representa el 8% del PIB nacional y el 30% del PIB agrícola, generando divisas por más de 1300 millones de dólares y empleo para 120 mil familias. Sin embargo, problemáticas como baja productividad, inconsistencias en la calidad, pérdida de la resistencia genética a plagas y enfermedades y baja tolerancia a condiciones adversas de clima amenazan la sostenibilidad del cultivo. Uno de los factores que hacen de la caficultura de Honduras una actividad vulnerable es la dependencia de pocas variedades de café con poca variabilidad genética, tales como la variedad IHCAFE90, Lempira y Parainema, que entre las tres conforman el 70% del parque cafetalero del país. El fortalecimiento de este parque con material genético superior es cada día más urgente, siendo el mejoramiento genético la estrategia de mayor viabilidad económica y ambiental para el país.

La estrategia de la producción vegetativa de híbridos F1 de café representa una alternativa factible de corto plazo para producir materiales de café con características genéticas superiores. Durante los últimos 12 años, el Instituto Hondureño del Café (IHCAFE) ha perfeccionado particularmente la técnica de propagación vegetativa de híbridos F1 *in vitro* por embriogénesis somática; sin embargo, sus altos costos de producción (casi un dólar por plántula), hacen poco factible su adopción en campo. Alternativas que permitan bajar los costos de producción por plántula son urgentes para potenciar dichas técnicas.

La estrategia de propagación vegetativa por micro-estacas de híbridos F1, propuesta por CATIE, representa la mejor oportunidad de bajar los costos de producción por plántula y llevar materiales genéticamente superiores al pequeño productor y productora de forma económica y ambientalmente factible.

Por lo tanto, este proyecto propone diseñar, construir y equipar un invernadero para el establecimiento de un jardín clonal de híbridos F1 de café, incluyendo área de plantas madre, de corte y preparación de micro-estacas, de enraizamiento, de aclimatación y de crecimiento de plántulas, cumpliendo las especificaciones técnicas de CATIE. El módulo estará ubicado en el Centro de Investigación y Capacitación Ing. José Ángel Saavedra (CIC-JAS), municipio de Corquín, Departamento de Copán, occidente de Honduras. Esta zona occidental del país produce alrededor del 50% de la producción nacional y se caracteriza por tener una cultura de café de avanzada, con buen nivel de innovación y adopción en tecnologías cafetaleras, especialmente nuevas variedades genéticamente superiores. El CIC-JAS cuenta con un área total de 15 hectáreas y se especializa en la producción comercial de café y de plántulas de café y maderables. Se ubica a una elevación de 900 msnm, con temperaturas entre los 24 y 32°C y precipitaciones de 1000 a 1600 mm al año.

Con la implementación del proyecto se espera producir anualmente 30 000 plantas (clones) de los híbridos F1 Centroamericano (selección Honduras), Esperanza y EC-16 como materiales promisorios en productividad, calidad y resistencia a la roya. Se pretende establecer al menos 10 parcelas comerciales demostrativas de los híbridos F1 de café seleccionados y multiplicados por micro-estacas para generar información técnica, económica y científica sobre la factibilidad de la multiplicación vegetativa de café por mini-estacas, así como capacitar al personal que asistirá la producción comercial de plantas clonales de híbridos F1 de café.

Nicaragua

El Instituto Nicaragüense de Tecnología Agropecuaria (INTA), propone fortalecer la capacidad de las instituciones en las técnicas de propagación clonal de café desarrolladas por el CATIE, con énfasis en el enraizamiento de estaquillas de materiales vegetativos de biotipos interés. Además, trabajará en fortalecer las capacidades de especialistas, técnicos y organizaciones de productores vinculados en programas de producción y renovación de cafetales; establecer/mejorar bancos de germoplasma; y producir un manual técnico de multiplicación de material vegetativo de café.

Entre los materiales vegetativos de interés están ET-47, SL-28, SL-34, Rumen Sudan, Wush wush, Parentales del Nemaya, Sarchimor, Geisha, Starmaya y los híbridos Casiopea, Esperanza y Excelencia.

La producción de material de siembra mejorado impulsará la renovación y rehabilitación de las plantaciones cafetaleras y generará un incremento en la producción, mejorando así los ingresos económicos de las familias cafetaleras.

República Dominicana

En República Dominicana la epidemia de roya del café a partir del 2012, encontró una caficultura conformada por plantaciones de edad avanzada de las variedades Caturra y Típica, en manos de pequeños y medianos caficultores, con escasa inversión. Asimismo, existe un rezago en la investigación dirigida a la innovación, adopción y transferencia tecnológica, cuyos resultados se visualizan en los rendimientos por unidad de superficie, la reducción de las exportaciones y el aumento de las importaciones de café para suplir la demanda local. La propagación vegetativa de café mediante el método de enraizamiento por estaquillas, impulsa el desarrollo y crecimiento de la renovación de cafetales con variedades resistentes y asegura la producción de réplicas idénticas a las plantas madre de cada uno de los híbridos.

Se propone establecer el módulo de propagación en la Estación Experimental La Cumbre, localizada en la cordillera Septentrional, a una altura de 600 msnm. La propiedad es del INDOCAFE y ha sido la receptora de todos los materiales genéticos introducidos en el país vía PROMECAFE. Cuenta con infraestructura para el manejo seguro de materiales procedentes de laboratorios de multiplicación vegetativa, su posterior aclimatación y establecimiento en jardines clonales en vivero y en campo. Dispone también de capacidades técnicas primordiales para desarrollar el proyecto de propagación vegetativa de café, con el apoyo de instituciones aliadas como el Instituto Superior de Agricultura (ISA). Con el ISA se pretende propagar las plantas madres a través de embriogénesis somática, que serán luego multiplicadas por enraizamiento de estaquillas con la asesoría de especialistas del CATIE.

Las metas del proyecto son la multiplicación de 3200 clones por embriogénesis somática de cuatro tipos de plantas madre F1; el establecimiento de un jardín clonal en la estación experimental de café La Cumbre y capacitar al nuevo personal técnico del INDOCAFE en multiplicación de plantas de café por el método de enraizamiento de estaquillas. Los materiales de interés son Esperanza, Milenio, Centroamericano y Excelencia.

Con la implementación del proyecto, República Dominicana espera contribuir significativamente a la renovación del parque cafetalero a futuro, con cultivares que garanticen los aspectos productivos y organolépticos que permitan satisfacer la demanda del producto y recibir los beneficios ecológicos y sociales asociados al café.

CONCLUSIONES

La hoja de ruta propuesta para ser implementada en los países inicialmente estaba hasta junio 2020, pero por la pandemia de COVID 19 se postergó a los primeros meses de 2021; los responsables de seguimiento presentaron las propuestas de inversión a la coordinación de CATIE-PROCAGICA-IICA-UE. Las distintas unidades de producción de materiales genéticos del CATIE estarán atentas para el envío de plantas madre a aquellos programas que lo soliciten, apoyando así la introducción de materiales de mejor calidad para su multiplicación y uso en los países.

Los técnicos participantes se comprometieron a presentar los resultados del taller en sus países e instituciones, buscando promover la importancia de la técnica de reproducción vegetativa.

Se prevé que la asesoría técnica a ser implementada por expertos del Banco de Semillas Forestales del CATIE, incluirá charlas a diferentes públicos y asesoría a técnicos y obreros vinculados a los viveros, lo cual contribuirá a la concientización sobre los beneficios del uso de plantas originadas mediante las técnicas de enraizamiento.

Todos los participantes del taller consideraron la temática del mismo como de alta o muy alta importancia

para la caficultura actual. La experiencia generó un alto grado de satisfacción entre los participantes ya que el 96% de los participantes calificaron a los instructores de muy buenos o buenos; el 96% de los participantes consideró que el programa del taller fue bueno o muy bueno y el 100% de los participantes hallaron que el aporte del taller generó nuevos conocimientos.

Con la implementación de los módulos de propagación en los países y la puesta en marcha de los programas de multiplicación, el CATIE y PROCAGICA esperan contribuir de manera significativa al mejoramiento del sector cafetalero regional, tan necesitado de materiales de alta producción y calidad, resistentes a las condiciones climáticas cambiantes y en particular, a precios accesibles.

BIBLIOGRAFÍA

- Etienne-Barry, D; Bertrand, B; Vasquez, N; Etienne, H. 1999. Direct sowing of *Coffea arabica* somatic embryos mass-produced in a bioreactor and regeneration of plants Plant Cell Reports 19(2):111-117.
- Matamoros-Quesada, A; Mesén-Sequeira, F; Jiménez-Alvarado, LD. 2020. Efecto de fitohormonas y fertilizantes sobre el enraizamiento y crecimiento de mini-estaquillas de híbridos F1 de café (*Coffea arabica*) Revista de Ciencias Ambientales 54(1):58-75. Disponible en <https://doi.org/10.15359/rca.54-1.4>
- Mesén, F; Jiménez, LD. 2016. Producción de clones de café por miniestacas. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 28 p. (Serie Técnica, Manual Técnico).
- Sosa-Mora, C; Mesén-Sequeira, F; Jiménez-Alvarado, LD. 2019. Efecto del ácido indolbutírico (AIB), Pyraclostrobin (F-500) y un inoculante biológico sobre el enraizamiento y crecimiento inicial de estaquillas de tres híbridos F1 de café (*Coffea arabica*) Agronomía Costarricense 43(2):177-190.
- Virginio Filho, EdM; Astorga, C. 2015. Prevención y control de la roya del café. Manual de buenas prácticas para técnicos y facilitadores. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 96 p. (Serie técnica, Manual técnico no. 131).

Reseñas de resultados del proyecto

Fortalecimiento de la colección internacional de café para el apoyo de la investigación en roya (*Hemileia vastatrix*) dentro del marco de la plataforma inter-institucional de países de PROMECAFE*

Carlos A. Cordero¹, William Solano², Jacques Avelino³,
Bayron Medina⁴, Eduardo Somarriba², Elias de Melo Virginio Filho⁵

RESUMEN

La colección internacional de café del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), ubicada en Turrialba, Costa Rica, conserva germoplasma del género *Coffea* desde el año 1949. Desde entonces ha realizado significativos aportes a la caficultura regional. Esta es una colección de importancia mundial debido a la diversidad genética que conserva, especialmente de la especie *C. arabica*. En virtud del acuerdo firmado en 2006, con el Tratado Internacional de Recursos Fitogenéticos, su germoplasma es considerado de dominio público. La colección internacional está compuesta por alrededor de 2000 accesiones de las cuales cerca de 800 son materiales silvestres colectados en su centro de origen (Etiopía, Kenia, Tanzania). La colección cuenta con cerca de 900 accesiones antiguas derivadas del Typica y Bourbon, así como algunas variedades introgresadas o resultantes de un retrocuce de *C. canephora*, algunas seleccionadas y mutantes. Además, hay un tercer grupo que está compuesto por unos 180 híbridos desarrollados en CATIE. Una sección de la colección es la llamada "Diferenciales" en la cual se conservan los materiales que presentan tolerancia a ciertas razas de roya y que reaccionan de manera diferente en presencia del agente causal, logrando de esta forma identificar razas del patógeno. Debido a la edad de las plantas que en su mayoría sobrepasa los 50 años, fue necesario reestablecer y reubicar toda la colección. Para ello, se llevó a cabo un inventario para conocer cuales son los materiales que están en riesgo de pérdida para rescatarlos a través de la injertación y así restablecerlos en un nuevo sitio. Esta labor permitirá tener mayor disponibilidad de material genético para ser distribuido a los países que forman parte de PROMECAFE y fortalecer la capacidad instalada en cada país para la identificación de razas de roya. En el simposio Latinoamericano de Caficultura, realizado en Guatemala en el año 2019, se presentaron los avances y estrategias de colaboración en el marco de la plataforma regional de roya del café, que cuenta con el apoyo del Programa Centroamericano de Gestión Integral de la Roya del Café -PROCAGICA-IICA-UE.

Palabras clave: Germoplasma, diversidad genética, mejoramiento genético regional, variedades mejoradas

ABSTRACT

The CATIE International Coffee Collection located in Turrialba, Costa Rica has conserved germplasm of the *Coffea* genus since 1949. Since then it has made significant contributions to the regional coffee farming. This collection is of world importance due to the genetic diversity it preserves, especially of the *C. arabica* species. Under the agreement signed in 2006, with the International Treaty on Plant Genetic Resources, its germplasm is considered to be of the public domain. The International Collection is made up of around 2000 accessions of which about 800 are wild materials collected at its center of origin (Ethiopia, Kenya, Tanzania). It has about 900 ancient accessions derived from Typica and Bourbon, as well as introgressed or resulting varieties from a backcross of *C. canephora*, some selections and mutants. In addition, there is a third group that is made up of about 180 hybrids developed at CATIE. One section of the collection is the so-called "Differentials" in which the materials that show tolerance to certain races of rust and that react differently in the presence of the causal agent are conserved, thus identifying races of the pathogen. Due to the age of the plants, which mostly exceeds 50 years, it was necessary to reestablish and relocate the entire collection. For this, an inventory was carried out to find out which materials are at risk of loss in order to rescue them through grafting and thus reestablish them in a new site. This work will make possible to have greater availability of genetic material to be distributed to the countries that are part of PROMECAFE and to strengthen the installed capacity in each country for the identification of rust races. At the Latin American Coffee Symposium, held in Guatemala in 2019, progress and collaboration strategies were presented for the regional coffee rust platform, under the support of the Central American Program for Integral Management of Coffee Rust PROCAGICA-IICA-EU.

Keywords: Germplasm, genetic diversity, regional genetic improvement, improved varieties

* Trabajo presentado en el XXIV Simposio Latinoamericano de Caficultura, Guatemala 2019, PROMECAFE, ANACAFE

1 CATIE-PROCAGICA-IICA-UE, Costa Rica; ccordero@catie.ac.cr

2 CATIE-Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, Costa Rica

3 CIRAD-PROCAGICA-IICA-UE, Costa Rica

4 CATIE-PROCAGICA-IICA-UE, Guatemala

5 CATIE-PROCAGICA-IICA-UE, Costa Rica

INTRODUCCIÓN

La colección internacional de café del CATIE (Figura 1) es la colección más importante del mundo que conserva germoplasma del género *Coffea* y es de dominio público, según lo ratifica el Tratado Internacional de Recursos Genéticos del año 2006. Desde el año 1949 esta colección ha realizado significativos aportes a la caficultura regional.

A través de los años, el germoplasma conservado ha sido empleado en la obtención de patrones porta injertos, programas de mejoramiento genético y obtención de variedades de café o híbridos de alta calidad y con tolerancia a enfermedades como la roya y los nemátodos. Además, los agricultores, científicos e investigadores de todo el mundo pueden tener acceso a las diferentes accesiones de café, facilitándose sus labores de mejoramiento genético, producción y conocimiento científico del cultivo (Anthony *et al.* 1995).

El catálogo original de la colección de café está conformado por 1987 introducciones: *Coffea arabica* (1523); *C. canephora* (49); *C. liberica* (23); *C. racemosa* (4); *C. salvatrix* (2); *C. congensis* (5); *C. eugenioides* (1); *C. stenophylla* (2); *C. bengalenses* (1); otras especies (3); híbridos hechos en Turrialba (138); híbridos introducidos (17) y otras accesiones (213) (Morera *et al.* 1993).

En el año 2014 se realizó un inventario para actualizar los materiales remanentes.

Los trabajos de investigación en la roya del café iniciaron en el siglo XIX en Indonesia, y luego se fueron extendiendo en numerosos centros experimentales en India, Brasil, Kenia, Tanzania, Colombia, países de América Central y Venezuela. Virginio Filho y Astorga (2015), mencionan la aparición posterior de nuevas razas fisiológicas del hongo. Trabajos realizados por el Centro de Investigación de las Royas del Café (CIFC) en Portugal, permitió identificar 50 nuevas razas.

Una sección de la colección internacional de café del CATIE, clasificada como “Diferenciales” que en su momento constó de 57 accesiones (Morera *et al.* 1993), y en el año 2019 contaba con 43 accesiones vivas, representa un germoplasma valioso para la identificación de razas de roya. Uno de los objetivos del manejo de esta colección es la regeneración y reubicación del lote de diferenciales, a través de la propagación vegetativa con la técnica de la injertación sobre patrones de Nemaya (*Coffea canephora*) y así restablecerlo en un nuevo sitio.

Esta labor permitirá tener mayor disponibilidad de material genético para ser distribuido a los países de PROMECAFE y fortalecer la capacidad instalada en



Figura 1. Colección internacional de café, CATIE, Turrialba, Costa Rica. Foto: W. Solano

cada país para la identificación de razas de roya por distintas vías, incluyendo la embriogénesis somática. El fortalecimiento de la colección contó con algunos apoyos, entre ellos, la colaboración con la plataforma regional de roya del café en el marco del Programa Centroamericano de Gestión Integral de la Roya del Café (PROCAGICA-IICA-UE).

OBJETIVOS

- Fortalecer la capacidad instalada de la colección internacional de café a través de un plan de manejo y rescate.
- Levantamiento de información documental de la colección de café para generar las condiciones a corto plazo para la distribución de materiales hacia los países.
- La renovación de accesiones críticas con representación de pocos individuos (menos de 3 por accesión).

METODOLOGÍA

El proyecto se basó en una investigación documental y de validación del protocolo para la propagación vegetativa a través de injerto para rescatar plantas de 55 años de edad establecidas en campo en el lote de café diferenciales del CATIE.

El área original se encuentra en la finca Cabiria, CATIE, ubicada en Turrialba, Cartago, Costa Rica. La localización geográfica está en las coordenadas 9 54'01.79" latitud N y 83 40'06.89" longitud O, a una elevación de 602 msnm. La temperatura promedio anual es de 21,9 grados Celsius, con una humedad relativa promedio anual de 88,6% y una precipitación promedio mensual de 224,7 mm (CATIE 2017).

La metodología empleada para la propagación vegetativa de las plantas de campo, se realizó tomando los rebrotes de 25 a 40 días después de la poda, siguiendo el protocolo descrito en el trabajo de tesis "Respuesta de rebrotes de *Coffea arabica* (híbridos F1 CATIE) a la injertación con patrones de *Coffea canephora* var. Nemaya" (Bravo-Sornoza 2018).

El proceso de injertación inició el 5 de junio de 2019; se realizaron tres injertos de cada planta presente en el campo.

Las etapas previstas empezaron con el inventario inicial, el manejo agronómico del cultivo, la producción de almácigos del patrón de Nemaya y el proceso de injertación y aclimatación de las nuevas plantas para

alcanzar los objetivos propuestos. Paralelamente a esta actividad, se dio el proceso de levantamiento de la información documental, las caracterizaciones morfológicas, así como la preparación de las condiciones para proveer de materiales a los países y futuros programas relacionados con el tema café-roya.

Paralelamente al rescate de la colección de cafetos clasificada como diferenciales, se trabajó en el apoyo y rescate de la colección ampliada, dada la importancia estratégica para los programas futuros de fortalecimiento de la caficultura en los países.

RESULTADOS

El levantamiento de información documental y de campo sobre la sub-colección y otros materiales disponibles en la colección completa, permitieron coordinar con los especialistas de CATIE, CIRAD, IICA y de otros centros, las estrategias futuras de manejo y uso de los recursos genéticos conservados, incluyendo la información de caracterización morfológica y molecular en estudios posteriores.

La metodología empleada para la propagación vegetativa a través de injerto sobre patrón de Nemaya, se logró implementar con éxito, empleando rebrotes (2 a 3 mm) provenientes de plantas adultas de *Coffea arabica* de 25 a 40 días después de la poda.

La metodología de propagación vegetativa a través de injerto sobre patrones de Nemaya, fue sencilla y no requirió de una inversión alta, por lo que su replicabilidad para instituciones y productores en general es posible si se cuenta con la semilla del patrón adecuado.

Actualmente se ha rescatado un promedio de 2,6 plantas de diferenciales por accesión, lo que corresponde a 140 plantas de un total de 54 accesiones que estuvieron listas en el 2020 para la renovación del lote de diferenciales de roya. Lo anterior permitió ampliar la capacidad instalada y preparar las condiciones para la distribución de material vegetativo a los países que así lo requirieron, tanto para montar su colección de plantas indicadoras como para fortalecer el mejoramiento genético en la región.

Otro logro obtenido en 2019 fue el de la actualización del inventario de la colección ampliada, el cual se logró con recursos de CATIE-PROCAGICA-IICA-UE y la empresa privada, y que servirá para definir las estrategias de manejo y rescate futuro de este acervo genético con importancia mundial para la caficultura.

CONCLUSIONES

- Es posible efectuar con éxito la injertación de plantas adultas de *Coffea arabica*, empleando patrones de *Coffea canephora* var. Nemaya como patrón porta injerto.
- Se logró validar con éxito el protocolo de injertación sobre patrón de Nemaya descrito por Bravo-Sornoza (2018).
- Se inició el fortalecimiento de la capacidad instalada de la colección internacional de café, con la ejecución de la primera etapa de rescate de la subcolección de diferenciales.
- Contar con material rejuvenecido y mayor cantidad de plantas permitió una mayor disponibilidad de material. Se espera en el corto plazo, contar con el lote de diferenciales ya establecido y documentado para iniciar los procesos de cooperación y aumentar la disponibilidad de material genético para ser distribuido a los países de PROMECAFE para la identificación de razas de roya.
- El fortalecimiento de la capacidad instalada permitirá monitorear e identificar en cada país distintas razas de roya.
- La colaboración interinstitucional internacional es clave para el mantenimiento y fortalecimiento del patrimonio más importante de biodiversidad de café de la región.

RECOMENDACIONES

- Continuar con el proceso de levantamiento de información documental y de campo de la subcolección y evaluaciones morfológicas y moleculares.
- Realizar un trabajo conjunto de análisis con especialistas de CATIE, CIRAD, IICA, entre otros investigadores y centros internacionales que

trabajan con roya, lo que permitirá robustecer la información de los materiales conservados y rescatados.

- Dar seguimiento a propuestas de investigación de estudiantes en la evaluación de la incidencia y severidad de la roya en los materiales de la subcolección y colección ampliada.
- Dar seguimiento y analizar los datos sobre el porcentaje de prendimiento de los injertos para cada accesión dado que aún es prematuro realizar su evaluación, por lo que se debe elaborar un documento adicional con los resultados finales.
- Realizar el establecimiento de un nuevo lote de diferenciales.

BIBLIOGRAFÍA

- Anthony, F; Bertrand, B; Dufour, M; Escalant, J-V. 1995. Evaluación y caracterización de los recursos genéticos de café conservados en el germoplasma del CATIE. In XVI Simposio sobre Caficultura Latinoamericana (IICA ICCR-A1/HN 95-004, 1993, Managua, Nicaragua). IICA-PROMECAFE. Disponible en <https://books.google.co.cr/books?id=Wh8OAQAIAAJ&printsec=frontcover&dq=XVI+Simposio+sobre+Caficultura+Latinoamericana+Managua+Nicaragua&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwjV-quh5eLjAhXptlkKHaaABwkQ6AEIKjAB#v=onepage&q=XVI%20Simposio%20sobre%20Caficultura%20Latinoamericana%20Managua%20Nicaragua&f=false>
- Bravo-Sornoza, J. 2018. Respuesta de rebrotes de *Coffea arabica* (Híbridos F1 CATIE) a la injertación con patrones de *Coffea canephora* var. Nemaya. Tesis Licenciatura en Ciencias Agrícolas. Guácimo, Limón, Costa Rica, Universidad EARTH.
- CATIE, (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza). 2017. Base de datos climáticos Disponible en <https://www.catie.ac.cr/productos-y-servicios/estacion-meteorologica/estacion-meteorologica-catie.html>
- Morera, J; Umaña, C; Mora, E; Hidalgo, G. 1993. Banco de germoplasma de café del CATIE. Turrialba, Costa Rica, CATIE.
- Virginio Filho, E; Astorga, C. 2015. Prevención y control de la roya del café. Manual de buenas prácticas para técnicos y facilitadores. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 96 p. (Serie técnica, Manual técnico no. 131).

Reseñas de resultados del proyecto**Aportes a la investigación, fortalecimiento de capacidades y formulación de políticas para el sector cafetalero en 20 años de ensayos de sistemas agroforestales con café**

Elias de Melo Virginio Filho¹, Eduardo Somarriba², Rolando Cerda², Fernando Casanoves², Carlos Cordero², Jacques Avelino³, Olivier Roupsard⁴, Bruno Rapidel⁴, Philippe Vaast⁵, Jean Michel Harmand⁴, Charles Staver⁶, John Beer⁷, Argenis Mora⁸, Víctor Hugo Morales⁸, Carlos Fonseca⁹, Víctor Vargas⁹, Luis Guillermo Ramírez⁷, Gabriela Soto¹⁰, Marney Isaac¹¹, Lolita Durán Umaña¹⁰, Ana Tapia Fernández¹⁰, Luis Fernando Romero², René León Gómez¹², Harold Gamboa¹³, Pedro Diniz¹⁴, Osvaldo Viu Serrano Junior¹⁴, Leila Pires Bezerra¹⁵, Zigomar Menezes de Souza¹⁵, Carlos Caicedo¹⁶, Jimmy Pico¹⁶, Florencia Montagnini¹⁷, Jeremy Haggart¹⁸

RESUMEN

A finales de los años 1990 el CATIE, con apoyo de varias instituciones, inició una red de ensayos de largo plazo en sistemas agroforestales con café. Los vacíos de información sobre las interacciones agroecológicas en sistemas con diferentes enfoques de producción a largo plazo, sumados a la urgente necesidad de asegurar sostenibilidad y restauración ecológica, fueron las principales motivaciones. Se presenta una reseña general de los primeros 20 años de estudios continuos en el CATIE, Turrialba, Costa Rica, a partir de un proceso interinstitucional e interdisciplinario. La idea base era generar conocimientos sobre las complejas interacciones entre clima, suelo, sombra, niveles y tipos de insumos y variedades de café que posibilitara el desarrollo de estrategias de diseño y manejo de sistemas agroforestales con potencial de sostener niveles de productividad aceptables y, a la vez, garantizar sinergismos ecológicos para la mejora del suelo, la biodiversidad y los servicios ambientales. El ensayo fue diseñado con seis tipos de sombra con la especie de servicio *Erythrina poeppigiana* y los maderables *Terminalia amazonia* (no fijador de nitrógeno) y *Chloroleucon eurycyclum* (fijador de nitrógeno), solos y en combinación, en contraste con el testigo a pleno sol. Como sub-tratamientos se definieron dos tipos de manejo (orgánico y convencional) en cuatro niveles: alto convencional (AC), moderado convencional (MC), orgánico intensivo (MO) y bajo orgánico (BO). La variedad principal de estudio fue la Caturra; además, se establecieron en algunos sistemas microparcels con Costa Rica 95 y los híbridos

Centroamericano y Milenio, L2A11, L3A17, L3A12 y L3A15. Luego de superar la fase crítica de establecimiento (primeros dos años), la plataforma de investigación se consolidó generando una invaluable base de datos y estudios a lo largo del tiempo. Con la colaboración de 22 universidades e instituciones de diversas partes del mundo, se desarrollaron 41 tesis de grado y posgrado, 23 artículos científicos en revistas internacionales y 22 documentos técnicos para diferentes públicos. Los resultados, usando una síntesis matricial sobre los estudios de los sistemas evaluados, indican elementos claves sobre las interacciones agroecológicas y sus vínculos con la sostenibilidad productiva y sinergias ecológicas. Los sistemas de producción con la variedad Caturra a pleno sol y/o con dos podas drásticas anuales de los árboles de sombra (bajo aporte de biomasa y mucha entrada de luz) con manejos AC y MC, aun con altos niveles de productividad, impactaron negativamente en variables biofísicas y en servicios ambientales. Los SAF con *Terminalia* y Caturra con manejo BO perdieron viabilidad en los primeros 10 años. Los SAF, en su conjunto, mejoraron el microclima. En particular los SAF con presencia de *Erythrina* mejoraron el desempeño productivo y los servicios ambientales. Todos los SAF presentaron mejor valoración de servicios ambientales que los sistemas a pleno sol. Los SAF que se destacaron en productividad y servicios ambientales fueron *Erythrina* en manejo MO y MC. Los sistemas *Erythrina* y *Erythrina* más *Chloroleucon*, ambos en manejo BO, han presentado buena rentabilidad, con bajos costos y buena valoración en servicios ambientales. Respecto a la

1 CATIE-PROCAGICA-IICA-UE, Costa Rica; eliasdem@catie.ac.cr
 2 CATIE- Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, Costa Rica
 3 CIRAD-Centro de cooperación internacional en investigación agronómica para el desarrollo/CATIE, Costa Rica
 4 CIRAD-Centro de cooperación internacional en investigación agronómica para el desarrollo, Francia
 5 CIRAD-Centro de cooperación internacional en investigación agronómica para el desarrollo, Italia
 6 Consultor, EUA
 7 Consultor, Costa Rica
 8 EARTH- Escuela de Agricultura de la Región Tropical Húmeda, Costa Rica

9 ICAFE-Instituto del Café, Costa Rica
 10 UCR-Universidad de Costa Rica, Costa Rica
 11 University of Toronto, Canadá
 12 PROMECAFE, Guatemala
 13 PROCAGICA-IICA, Costa Rica
 14 Fazenda da Toca, Brasil
 15 UNICAMP-Universidad Estatal de Campinas, Brasil
 16 INIAP-Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias, Ecuador
 17 Universidad Yale, EUA
 18 Universidad de Greenwich, Inglaterra

comparación productiva entre diferentes variedades, los híbridos F1 Milenio y Centroamericano, produjeron más del doble (14 212,5 y 13 368,75 kg/ha respectivamente en valores promedio), que Caturra con el promedio más bajo (5230,62 kg/ha), y también superado por Costa Rica 95 (con promedio de 9823,75 kg/ha). Tanto los enfoques metodológicos, como las innovaciones generadas, han sido socializadas ampliamente en procesos de fortalecimiento de capacidades en los países productores de café en las Américas (capacitación a más de 42 041 productores). Se ha dado soporte al diseño e implementación de políticas cafetaleras orientadas a la sostenibilidad productiva, económica, social y ambiental. Para este logro fue determinante la colaboración con PROMECAFE, los Institutos de Café en Centroamérica, RECIPROCAFE y la Alianza de Mujeres en Café. En los últimos cuatro años, el Programa Regional de Gestión Integral de la Roya (PROCAGICA-IICA-UE), ha facilitado vínculos entre la agenda de investigación/validación en el

ensayo propiamente y los protocolos de validación de innovaciones en la red de fincas de referencia en cinco países de América Central (Guatemala, Honduras, El Salvador, Nicaragua y Costa Rica). Dada su relevancia, aun con la meta inicial de 20 años ya cumplida, la idea es seguir operando en el ensayo de largo plazo de SAF con café en CATIE. Las experiencias pioneras desarrolladas han sido fuente para otras experiencias en diferentes países, lo cual permitió ampliar la red de ensayos agroforestales para estudios de largo plazo. En este ámbito, destaca el ensayo de SAF cítricos orgánicos (Hacienda de la Toca, São Paulo, Brasil); los ensayos de café, cacao y naranjilla (INIAP-Estación Central de la Amazonia, Ecuador); el ensayo SAF café (EARTH, Caribe, Costa Rica) y más recientemente, los ensayos de largo plazo con cacao y pasturas establecidos en CATIE.

Palabras clave: Sostenibilidad, restauración ecológica, diseño agroforestal, estrategias de manejo

ABSTRACT

In the late 1990s, CATIE, with the support of various institutions, began a network of long-term trials in agroforestry systems with coffee. The information gaps on agroecological interactions in systems with different long-term production approaches, and the urgent need to ensure sustainability and ecological restoration, were the main motivations. A general review of the first 20 years of continuous studies at CATIE, Turrialba is presented based on an interinstitutional and interdisciplinary process. The basic idea was to generate knowledge about the complex interactions between climate, soil, shade, levels and types of inputs and coffee varieties, which would enable the development of design and management strategies for agroforestry systems with the potential to sustain acceptable levels of productivity and the time to guarantee ecological synergies for the improvement of soil, biodiversity and environmental services. The trial was designed with six types of shade with the service species *Erythrina poeppigiana*, and the hardwoods *Terminalia amazonia* (non-fixer of Nitrogen) and *Chloroleucon eurycyclum* (fixer of Nitrogen), alone and in combination, in contrast to the control in full sun. As sub-treatments, two types of management (organic and conventional) were defined at four levels: High Conventional (AC), Moderate Conventional (MC), Intensive Organic (MO) and Low Organic (BO). The main variety of study was Caturra, in addition, they were established in some microplot systems with Costa Rica 95 and: Centroamericano, Milenio, L2A11, L3A17, L3A12 and L3A15 hybrids. After overcoming the critical phase of establishment (first two years), the research platform was consolidated, generating an invaluable database and studies over time. With the collaboration of 22 universities and institutions from different parts of the world, 41 undergraduate and graduate theses, 23 scientific articles in international journals and 2 technical documents for different audiences were developed. The results, using a matrix synthesis of the studies of the evaluated systems, indicate key elements about agroecological interactions and their links with productive sustainability and ecological synergies. The production systems with the Caturra variety in full sun and or with two drastic annual prunings of the shade trees (low contribution of biomass and a lot of light input) with AC and MC management, even with high levels of productivity, had a negative impact in biophysical variables and in environ-

mental services. The AFS with *Terminalia* and with Caturra in BO management lost viability in the first 10 years. The AFS as a whole improved the microclimate. In particular, AFS with *Erythrina* presence improved productive performance and environmental services. All the AFS presented a better valuation of environmental services than the systems in full sun. The AFS that stood out in productivity and environmental services were *Erythrina* in MO management and MC management. The *Erythrina* and *Erythrina* plus *Chloroleucon* systems, both in BO management, have presented good profitability, with low costs and good valuation in environmental services. Regarding the productive comparison between different varieties, the Millennium and Central American F1 hybrids produced more than double (14212,5 and 13368,75 kg/ha respectively in average values) than Caturra with the lowest average (5230,62 kg/ha), and also surpassed by Costa Rica 95 (with an average of 9823,75/ha). Both the methodological approaches and the innovations generated have been widely socialized in capacity building processes in the coffee producing countries of the Americas (training more than 42,041 producers). Support has been given to the design and implementation of coffee policies aimed at productive, economic, social and environmental sustainability. The collaboration with PROMECAFE, the Coffee Institutes in Central America, RECIPROCAFE and the Alliance of Women in Coffee was decisive for this achievement. In the last four years, the Regional Program for Comprehensive Rust Management-PROCAGICA-IICA-EU has facilitated links between the research/validation agenda in the trial and the innovation validation protocols in the network of reference farms in five Central American countries (Guatemala, Honduras, El Salvador, Nicaragua and Costa Rica). The pioneering experiences developed have been a source for other countries beyond Costa Rica, this allowed expanding the agroforestry trials network for long-term studies. In this area, the Organic Citrus AFS Trial (Toca Farm, São Paulo, Brazil), the Coffee, Cacao and Naranjilla Trial (INIAP-Central Amazon Station, Ecuador), the Coffee AFS Trial (EARTH, Caribbean Coast, Costa Rica) and more recently, the long-term trials with cacao and pastures established at CATIE.

Keywords: Sustainability, ecological restoration, agroforestry design, management strategies

INTRODUCCIÓN

Al final de los años 1990, el sector cafetalero enfrentaba el gran reto de reinventarse en medio de una crisis sin precedentes vinculada al modelo de producción y comercialización. Por un lado, los precios internacionales llegaban a su valor mínimo en un siglo (OIC 2002), con repercusiones dramáticas en las economías de los países productores, en particular con el aumento del desempleo y la pobreza. Sumado a lo anterior, importantes eventos como sequías y huracanes afectaron fuertemente países de América Central y, en particular, se evidenciaba el inicio de alteraciones en la regularidad de las lluvias (CEPAL 2003). La caficultura pasó a ser muy vulnerable, situación agravada por la crisis económica y social, basada en la dependencia de insumos externos a base de petróleo, con altos costos de producción y bajos precios de comercialización y criticada por promover impactos ambientales negativos que llevaron al límite el agotamiento de un modelo insostenible y degradante de los agroecosistemas (Soto *et al.* 2006).

En este marco, se incrementó sustancialmente la conciencia sobre la necesidad de promover una caficultura con un nuevo enfoque y, al respecto, la Organización Internacional de Café (OIC) comunicó en la Cumbre Mundial sobre el Desarrollo Sostenible-2002, realizada en Johannesburgo que “*La OIC reconoce que el desarrollo sostenible tiene una dimensión económica y social y también una dimensión medioambiental*”. Así, crecieron las propuestas de promoción de una caficultura más sostenible, diversificada y más equitativa y, en este contexto, surgen la mayoría de los sellos/certificaciones que conocemos hoy día. Desde el punto de vista productivo, se masifican las propuestas de protocolos y opciones de diseños y manejo de sistemas de producción para la promoción de la sostenibilidad en la caficultura. Los sistemas agroforestales y prácticas orgánicas, consideradas amigables y agroecológicas, pasaron a ocupar un espacio muy visible e importante.

El Proyecto CATIE-MIP-AF/NORAD (1999-2004), con el apoyo del consulado de Noruega, impulsó el proceso de desarrollo de experimentos de largo plazo. El propósito fue entender la complejidad de las interrelaciones entre diferentes factores agroecológicos en los sistemas de producción agroforestal en café, como cultivo perenne. Un grupo de expertos internacionales de CATIE, CIRAD y otras organizaciones hicieron una exhaustiva revisión sobre las bases científicas de propuestas de largo plazo de producción agroforestal en café con enfoques de sostenibilidad. La conclusión fue enfática: no había estudios de

largo plazo que permitieran entender las implicaciones de uno u otro enfoque productivo utilizando como base la producción agroforestal de largo plazo. Las investigaciones casi siempre se desarrollaban en periodos cortos y sin considerar enfoques interdisciplinarios ni de análisis de las diferentes dimensiones de los sistemas productivos. Es así como en el año 1999, un equipo de investigación de CATIE, en colaboración con otros grupos internacionales, iniciaron un proceso de planificación de una red de experimentos de largo plazo para la evaluación de diferentes sistemas de producción y plantean que, para el diseño de sistemas mejorados de producción se deberían considerar las siguientes variables (Haggar *et al.* 2001):

***Clima.* El café en América Central se produce en un rango amplio de condiciones climáticas, desde zonas bajas, calientes y secas ... a zonas altas, frías y húmedas ...el clima es una de las variables de partida más importantes.**

***Varietades de café.* El mejoramiento y selección de variedades ha sido dirigido a aumentar el rendimiento y la tolerancia a la roya (*Hemileia vastatrix*). No obstante, los criterios de selección de variedades continúan en debate considerando la calidad, productividad y tolerancia a plagas.**

Insumos para el manejo de fertilidad de suelos y plagas.

En sistemas de alta utilización de insumos, los fertilizantes químicos son aplicados en niveles superiores a la cantidad de nutrientes exportados. En estos sistemas, la aplicación calendarizada de plaguicidas busca prevenir los problemas de plagas. En el otro extremo, se cultiva café sin la aplicación de fertilizantes y/o plaguicidas. Entre estos dos extremos existen diversas estrategias de manejo de plagas y fertilidad del suelo.

***Estrato arbóreo.* Los árboles asociados al café afectan su fisiología, los nutrientes, la flora y fauna dentro y sobre el suelo. Los árboles también contribuyen con leña, madera y frutas a la economía familiar para consumo y venta (Beer *et al.* 1998, citado por Haggar *et al.* 2001).**

Para este momento se plantea la sostenibilidad como un criterio fuerte para el diseño de los mejores sistemas de producción en las décadas futuras (Fernández y Muschler 1999 citados por Haggar *et al.* 2001). Por otro lado, se discutía si era suficiente el enfoque de sostenibilidad

como mecanismo para “mantener e incrementar la producción, y la calidad de los recursos”. Adicionalmente, se planteaba considerar los sinergismos ecológicos “en la búsqueda de sistemas mejorados de producción de café”, a partir de la combinación de tipos de sombra con tipos de manejo (Haggar *et al.* 2001):

“Nos referimos a las interacciones positivas entre el clima, la sombra, los niveles y tipos de insumos y la variedad de café que resultan en eficiencias no esperadas, mayores niveles de producción o de calidad, facilidades para el manejo del sistema o su capacidad de recuperación (resiliencia). Estos sinergismos se manifestarían mediante mejoras en el sistema de producción que van más allá de la sostenibilidad y que podrían ser el producto de mejoras en la vida biológica del suelo y la materia orgánica, la velocidad de reciclaje de los nutrientes o en la sincronización entre los procesos productivos y el reciclaje de nutrientes, la dinámica de la red alimenticia o la sucesión.”

Bajo los elementos orientadores mencionados, un grupo de científicos del proyecto CATIE-MIP-AF/NORAD inició en el año 2000, el establecimiento de dos experimentos de largo plazo (uno en Costa Rica y otro en Nicaragua), para evaluar múltiples sistemas de producción. Para lograr el gran desafío de iniciar un esfuerzo pionero en el mundo se plantearon los siguientes objetivos de evaluación de sostenibilidad y sinergismos agroecológicos en café (Haggar *et al.* 2001):

1. Evaluar los efectos de la composición y el tipo de sombra, de tipos y niveles de insumo convencionales y orgánicos, y variedades sobre el crecimiento, rendimiento y calidad del café, la dinámica de plagas, flora, fauna, ciclos de nutrientes y materia orgánica.

2. Medir el crecimiento y desarrollo de diferentes estratos arbóreos en términos de acumulación de biomasa, producción de leña, madera y producción de hojarasca; evaluar su efecto sobre microclima, biología del suelo y materia orgánica.

3. Contrastar las interacciones entre sombra, estrategias de manejo de nutrientes, plagas y variedades en diferentes

zonas de producción de café, de acuerdo con las lluvias, la altitud y los tipos de suelos.

4. Desarrollar métodos para la identificación de sinergismos y la evaluación de la sostenibilidad económica, ecológica y productiva de los sistemas de producción con café.

5. Promover enfoques integrados entre disciplinas e instituciones para investigar en sistemas de producción con café en América Central.

Este artículo presenta, en forma de síntesis, el diseño experimental, la gestión, logros, desafíos y hallazgos generales vivenciados en los primeros 20 años (meta inicial propuesta) del ensayo de largo plazo en sistemas agroforestales con café ubicado en Costa Rica.

MATERIALES Y MÉTODOS

Definición del diseño del ensayo

La tarea de definición del diseño del experimento de largo plazo estuvo a cargo de un grupo interdisciplinario de técnicos y científicos de CATIE y CIRAD (con apoyo del Instituto Nacional de Café de Costa Rica, ICAFE), con experiencia en los campos de la agroecología, agroforestería, agronomía, silvicultura, cuencas hidrográficas, fisiología vegetal, fitopatología, entomología, malherbología (estudio de hierbas del suelo), edafología, ecología y fitomejoramiento. El proceso de análisis fue muy amplio e intenso, pero también un reto para el grupo de profesionales con experiencias muy variadas. Las primeras reuniones de trabajo se desarrollaron en 1999 y siguieron durante los primeros siete meses del año 2000, cuando se llegó al acuerdo de un diseño de investigación que permitiera:

- Contar con estructura experimental para valoración de múltiples variables vinculadas a la exploración del conocimiento en las distintas interacciones agroecológicas del complejo integrado por suelos, diversidad de hierbas, variedades de café, especies arbóreas, clima-microclima.
- Con un número de sistemas y diseño con alto potencial de comparabilidad y contrastes, y que al mismo tiempo no representara niveles de complejidad de difícil exploración.
- Con la dimensión adecuada que permitiera, por un lado, contar con área mínima de referencia para el diseño agroforestal, y por otro de gestión manejable.
- Con diseño experimental robusto y con una oferta amplia de posibilidades de estudios vinculados a los temas de protocolos de base mínimos, y

posibles temas de interés incorporados por propuestas del personal científico que se vinculara a las investigaciones.

Componentes del ensayo

a) Especies arbóreas seleccionadas

Se definieron criterios básicos para la selección de las especies arbóreas, entre ellos:

- Una especie de servicio (aporte de biomasa aérea, fijación de nitrógeno en suelo, facilidad de regulación de sombra, referenciada en cafetales de Costa Rica y América Central)
- Una especie maderable no fijadora de nitrógeno, de potencial económico para diversificación y nativa
- Una especie maderable fijadora de nitrógeno, de potencial económico para diversificación y nativa
- Bajo los criterios anteriores, se seleccionaron las siguientes especies (Figura 1):
 - Poró (*Erythrina poeppigiana*); procedencia Turrialba, Costa Rica: finca la Roncha; finca CATIE, sector Bonilla 2. Siembra en estacas. Especie muy utilizada en cafetales de Costa Rica y América Central.
 - Roble coral (*Terminalia amazonia*); procedencia Coto Brus (semilla), vivero Horquetas de Sarapiquí, Costa Rica. Especie utilizada en cafetales de la zona sur de Costa Rica.

- Cashá (*Chloroleucon eurycyclum* Barney & Grimes, sinónimos: *Abarema idiopoda*, *Pithecellobium pseudotamarindus*); procedencia de las comunidades de Paraíso y San Miguel de Sixaola, Talamanca (semilla: proyecto Corredor Biológico Talamanca Caribe-CBTC); vivero forestal de CATIE. Especie conocida en sistemas agroforestales en Talamanca, pero sin referencias previas de uso en cafetales.

b) Variedades de café

Como variedad principal de estudio se definió el Caturra, considerando su predominancia en cafetales de Costa Rica y en otros países de la región centroamericana. De forma complementaria se establecieron micro-parcelas con Costa Rica 95 y 6 híbridos del programa CATIE-CIRAD-PROMECAFE/institutos de café (Centroamericano Milenio; L2A11; L3A17; L13A12; L3A15).

c) Tipos y niveles de manejo

Se plantearon dos tipos de manejo: convencional con uso de agroquímicos sintéticos y abonos orgánicos y dos niveles de aplicación de insumos distintos para cada uno. Para el manejo convencional se definieron un nivel alto convencional (AC), el equivalente al paquete de altos insumos (manejo recomendado por ICAFE para muy



Poró
(*Erythrina poeppigiana*)
(Foto: E. de M. Virginio Filho, 2012)

Roble coral
(*Terminalia amazonia*)
(Foto: G. Sanches Dolenc, 2017)

Cashá
(*Chloroleucon eurycyclum*)
(Foto: G. Sanches Dolenc, 2017)

Figura 1. Especies arbóreas consideradas en el ensayo a largo plazo en sistemas agroforestales con café, Turrialba, Costa Rica

altos rendimientos) y un nivel moderado convencional (MC), más amigable ambientalmente y como referencia a un modelo de transición. Para los manejos convencionales se definieron protocolos tomando como referencia principal las indicaciones de los manuales técnicos del ICAFE (ICAFE 1998). En particular el MC buscó combinar aplicaciones moderadas de insumos sintéticos con algunas prácticas agroecológicas tales como sombra regulada de árboles de servicio y manejo selectivo de la cobertura de hierbas del suelo (Haggar *et al.* 2001).

La definición de los manejos orgánicos fue mucho más compleja, ya que no se contaba con referencias sólidas que permitieran perfilar las posibles respuestas de largo

plazo a diferentes intensidades y tipos de bioinsumos. En este sentido, con la información sistematizada en diferentes fincas orgánicas y con la recopilación de información documental de algunos estudios puntuales, se elaboró un protocolo inicial que luego se ajustó a partir del aprendizaje de los primeros siete años del experimento. Los niveles de manejo orgánico definidos fueron orgánico intensivo (MO) y un orgánico bajo (BO). El MO buscaba las condiciones para una producción orgánica de alta productividad y rentabilidad y el BO una producción con base en insumos mínimos, pero siempre con potencial de productividad y rentabilidad aceptables. En líneas generales, los detalles de los diferentes manejos están indicados en la Cuadro 1.

Cuadro 1. Tipos y niveles de manejo/insumos utilizados en el ensayo a largo plazo en sistemas agroforestales con café, Turrialba, Costa Rica

	Niveles de manejo			
	Alto convencional (AC)	Moderado convencional (MC)	Orgánico intensivo (MO)	Bajo orgánico (BO)
Tipos de fertilizantes (enmiendas y foliares)	Químicos sintéticos	Químicos sintéticos	Orgánicos (gallinaza, pulpa de café, minerales)	Orgánico (pulpa de café)
Nivel de fertilizantes aplicados	Altas dosis de fórmulas completas y nitrogenadas (> 250 kg/ha) al suelo y tres fertilizaciones foliares al año	Dosis intermedias de fórmulas completas y nitrogenadas al suelo con una aplicación foliar al año	Altas cantidades de enmiendas orgánicas (10 ton/ha/año) y 100 kg/ha/año de minerales, tres aplicaciones por año de biofermentos foliares	Baja cantidad de enmienda orgánica (5 ton/ha/año), sin aplicaciones de biofermentos
Manejo de hierbas del suelo	Seis aplicaciones anuales de herbicida con suelo libre de hierbas	Cinco aplicaciones anuales de herbicida en la banda de fertilización de los cafetos. Se mantiene calle con cobertura regulada con chapeas (4)	Cuatro chapeas anuales con manejo selectivo de buenas hierbas como cobertura	Cuatro chapeas anuales con manejo selectivo de buenas hierbas como cobertura
Manejo de plantas de café (podas, resiembras)	Podas selectivas anuales por tallo/planta Resiembras anuales	Podas selectivas anuales por tallo/planta Resiembras anuales	Podas selectivas anuales por tallo/planta Resiembras anuales	Podas selectivas anuales por tallo/planta Resiembras anuales
Control de enfermedades del café	De 2 a 3 aplicaciones anuales de fungicidas	De 1 a 2 aplicaciones anuales de fungicidas	Según incidencia (fungicidas para agricultura orgánica)	No se hace control
Control de plagas insectiles	Insecticidas químicos. Cosecha total de frutos y trampas atrayentes (broca)	Insecticidas químicos por focos. Cosecha total de frutos y trampas atrayentes (broca)	Insecticidas naturales por focos y control biológico. Cosecha total de frutos y trampas atrayentes (broca)	Cosecha total de frutos
Manejo de los árboles	Poda de formación de los maderables en los primeros años. Podas drásticas (2) anuales de <i>E. poeppigiana</i>	Poda de formación de los maderables en los primeros años. Podas moderadas (2) anuales de <i>E. poeppigiana</i>	Poda de formación de los maderables en los primeros años. Podas moderadas (2) anuales de <i>E. poeppigiana</i>	Poda de formación de los maderables en los primeros años. Podas moderadas (2) anuales de <i>E. poeppigiana</i>

Fuente: Elaborado con base en Virginio Filho *et al.* (2015)

d) Diseño experimental

Para cumplir los objetivos generales de investigación, y con base en la disponibilidad de terreno, la optimización de toma de datos de diferentes variables y los costos operativos a lo largo del tiempo, se definió un diseño experimental con seis tratamientos de sombra (SAF), con las especies indicadas anteriormente, un tratamiento a pleno sol como testigo y cuatro sub-tratamientos de manejo (tipos y niveles: AC, MC, MO, BO). De esta manera, además del testigo café a pleno sol se definió los siguientes SAF:

- SAF 1=** Asocio café con árbol de servicio *Erythrina poeppigiana* (poró), con manejos AC, MC, MO, BO
- SAF 2=** Asocio café con árbol maderable no fijador de nitrógeno *Terminalia amazonia* (roble coral/ amarillón) con manejos AC, MC, MO, BO
- SAF 3=** Asocio café con árbol maderable fijador de nitrógeno *Chloroleucon eurycyclum* (cashá), con manejos MC, MO
- SAF 4=** Asocio café con árbol maderable no fijador de nitrógeno *T. amazonia* (roble coral/amarillón), combinado con árbol fijador de nitrógeno *C. eurycyclum* (cashá), con manejos MC, MO
- SAF 5=** Asocio café con árbol maderable no fijador de nitrógeno *T. amazonia* (roble coral/amarillón) combinado con árbol de servicio *E. poeppigiana* (poró), con manejos MC, MO
- SAF 6=** Asocio café con árbol maderable fijador de nitrógeno *C. eurycyclum* (cashá) combinado con árbol de servicio *E. poeppigiana* (poró), con manejos AC, MC, MO, BO

Los siete tratamientos (seis SAF más el testigo pleno sol) y sus respectivos sub-tratamientos de manejo (AC, MC, MO, BO), fueron establecidos en tres repeticiones (bloques). Un detalle importante está asociado al hecho de que no todos los tratamientos tuvieron los cuatro sub-tratamientos de manejo, debido a que los expertos consideraban que no había mucho interés en contar con testigos orgánicos a pleno sol. Desde el punto de vista de vínculos comparativos entre los diferentes sistemas en estudio, el MC está representado en todos los tratamientos, incluso en el testigo café en pleno sol. Para los seis SAF, además del MC, el MO está presente en todos. En este sentido, el diseño experimental es en bloques completos al azar con arreglo de tratamientos factorial incompleto.

En cada repetición (bloque), se tiene la combinación de los seis SAF más el pleno sol y sus respectivos sub-tratamientos (tipos y niveles de manejo), integrando así 20 sistemas diferentes (18 en SAF y 2 a pleno sol).

e) Arreglo espacial de unidades experimentales

Los 20 tratamientos y sus tres repeticiones fueron ubicados en parcelas principales (SAF y pleno sol) y subparcelas de manejo, siguiendo un diseño de parcelas divididas (Figura 2). Luego de hacer la distribución de los bloques, fue necesario hacer ajustes en la forma de algunas parcelas considerando la geografía y tamaño del terreno disponible.

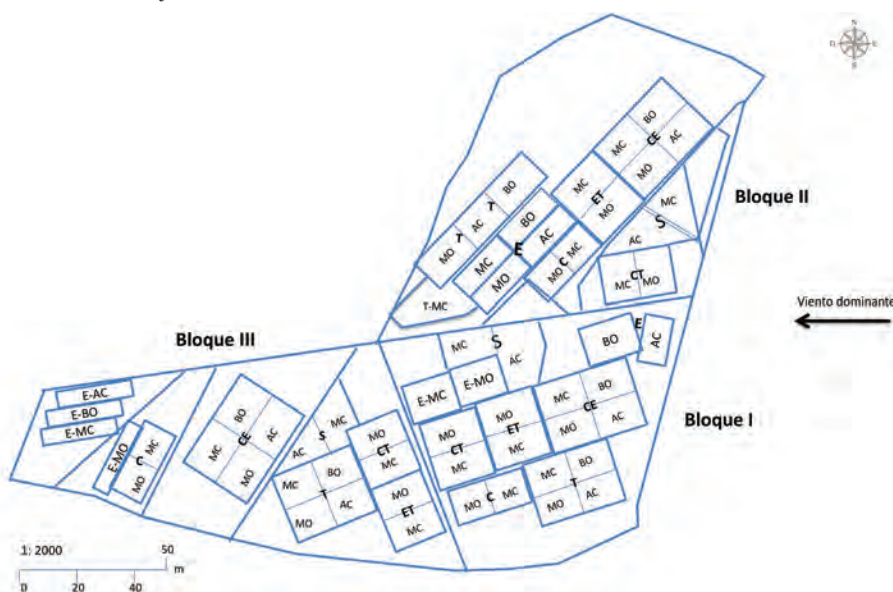


Figura 2. Distribución de parcelas (sistemas), subparcelas (manejos) y bloques (repeticiones) del ensayo a largo plazo en sistemas agroforestales con café, Turrialba, Costa Rica.

Parcelas: SAF 1. *Erythrina poeppigiana* (poró) = E. SAF 2. *Terminalia amazonia* (roble coral/amarillón) = T. SAF 3. *Chloroleucon eurycyclum* (cashá) = C. SAF 4. *Terminalia a.* + *C. eurycyclum* = CT. SAF 5. *T. amazonia* + *E. poeppigiana* = ET. SAF 6. *C. eurycyclum* + *E. poeppigiana* = CE. PLENO SOL = S.
 Subparcelas: AC = Alto convencional. MC= Moderado convencional. MO= Orgánico intensivo. BO= Bajo orgánico.

Los arreglos espaciales en cada unidad experimental fueron establecidos con distancias de siembra para el café de dos metros entre filas y de un metro entre plantas. Para los árboles se adoptó una distancia de siembra inicial de seis metros entre filas y cuatro metros entre plantas. El tamaño de cada parcela tuvo una relación directa con el total de subparcelas de manejo, de manera que los tratamientos con cuatro niveles de manejo tienen parcelas con dimensiones de entre 3200 m² y 4088 m², mientras que los sistemas con dos manejos tienen dimensiones que van de 1612 m² a 2132 m².

f) Hipótesis generales de la plataforma de investigación

Los científicos que participaron en la planificación del ensayo de largo plazo definieron hipótesis generales buscando orientar el desarrollo de las investigaciones en función de preguntas centrales formuladas durante la definición del diseño experimental. Durante los 20 años de estudios, se amplió la formulación de las diferentes hipótesis atendiendo a actualizaciones temáticas requeridas. A continuación, se presentan las hipótesis planteadas en la fase de planificación del experimento.

- Efectos de la sombra sobre la producción y nutrientes:

1. Café bajo sombra tiene rendimientos más estables que café a pleno sol
2. Café bajo sombra de árboles fijadores de nitrógeno tiene rendimientos más estables y con un mejor nivel nutricional que café bajo sombra de árboles no-fijadores
3. Café bajo sombra permite un mantenimiento fácil en el grado de sombra deseada y tiene rendimientos mayores y más estables que café bajo sombra de regulación difícil
4. Café bajo sombra produce granos de mejor calidad
5. Para eficiencia en rendimiento y sostenibilidad, el nivel de sombra debe variar con el nivel de insumos para el manejo de la fertilidad del suelo

- Efectos de la sombra sobre el microclima para café:

6. Sombra mezclada de árboles de diferente fenología es un mejor ambiente para café que sombra de especies de fenología uniforme
7. Árboles con una sombra densa y compacta compiten más con el café que árboles con una sombra abierta y amplia
8. Un dosel multi-estrato permite mayor penetración de luz que un dosel de un solo estrato

- Efectos de la sombra sobre las plagas:

9. Café bajo sombra tiene poblaciones de plagas más estables y más bajas
10. El estado nutricional mejorado de café bajo árboles fijadores de nitrógeno reduce las plagas
11. Sombra con mayor micro-variabilidad incrementa los focos de plagas y la complejidad en el manejo de las mismas
12. El nivel ideal de sombra depende del nivel de insumos para el manejo de fertilidad y plagas

- Efecto de insumos para fertilidad del suelo:

13. Café con mejor nutrición tiene menores problemas de plagas insectiles y enfermedades
14. Café con insumos orgánicos tiene rendimientos más estables que café con insumos químicos

- Variedades:

15. Variedades resistentes resultan en rendimientos mayores y más estables y costos de producción menores

- Clima:

16. La altura tiene un efecto mayor sobre la calidad de café que la sombra
17. Sombra es de menor importancia en la sostenibilidad de la producción de café en zonas más húmedas y más cerca de la altura de producción óptima

g) Temas generales de monitoreo durante los estudios

A lo largo de su existencia, el ensayo ha generado una amplia base de datos vinculados con los temas centrales de la investigación. De manera complementaria, muchas de las diferentes investigaciones desarrolladas también trataron temas específicos que se sumaron al conjunto de datos generados. A continuación se indica la lista general de los temas que orientan los monitoreos constantes y las evaluaciones a lo largo del tiempo:

- 1) Evolución de la fertilidad de suelos
- 2) Micro y macro fauna del suelo
- 3) Diversidad de hormigas
- 4) Diversidad de aves y mamíferos
- 5) Monitoreo de hierbas del suelo
- 6) Agotamiento de cafetos (podas)
- 7) Enfermedades y plagas del café
- 8) Producción y calidad de café
- 9) Costos, ingresos y rentabilidad
- 10) Rendimiento y calidad de café
- 11) Desarrollo de árboles (volumen de madera) y porcentaje de sombra

- 12) Aporte de materia orgánica y nutrientes con los árboles
- 13) Carbono en los sistemas, incluidos los suelos
- 14) Información meteorológica (temperatura, precipitación, humedad relativa, radiación, viento, evapotranspiración)

Ubicación

Luego de revisar algunas áreas disponibles, el terreno seleccionado (9, 25 ha) para el ensayo de largo plazo se ubicó en el sector Bonilla 2 de la finca del CATIE, Turrialba, Costa Rica, con las siguientes coordenadas: 9°53'44" latitud norte y 83°40'07" longitud oeste (Figura 3).



Figura 3. Ubicación del ensayo a largo plazo en sistemas agroforestales con café, Turrialba, Costa Rica. Foto: imagen de satélite, Proyecto MACACC, diciembre 2013

La elevación aproximada es de 600 msnm. Según la clasificación de zonas de vida de Holdridge, el ensayo se ubica en tipología de influencia del Bosque Premontano Muy Húmedo (bpmh) (Jiménez 2003, citado por Merlo 2007).

El suelo del sitio seleccionado está ubicado en una ligera pendiente; fue escogido en particular por sus dimensiones y buena fertilidad superficial, a pesar de que tres años atrás había estado cultivado de caña de azúcar y, anteriormente y durante muchos años bajo pasto. El ensayo de largo plazo fue establecido el 28 de agosto del año 2000.

a) Clasificación de los suelos

Los análisis iniciales (McDaniel y Kaas, 2001), determinaron que los suelos del área de ensayo eran aluviales mixtos con Ultisol (Endoaquult) e Inceptisol (Endoaquept).

La textura de estos suelos en los primeros horizontes se determinó entre franco y franco-arcilloso (figuras 4, 5 y 6). La caracterización del suelo permitió determinar además que el perfil más fértil era de poca profundidad y, en general, no sobrepasaba los 30 cm. Por otro lado, se confirmó el efecto de nivel freático superficial con la presencia de reducción-oxidación de Fe y Al (Figura 5.). Las limitantes de drenaje encontradas hicieron que el personal experto en suelo expresara sus dudas sobre la posibilidad de que el ensayo se pudiera establecer con éxito.



Figura 4. Apertura de calicatas para la caracterización del suelo del ensayo a largo plazo en sistemas agroforestales con café, Turrialba, Costa Rica. Foto: E. de M. Virginio Filho (2001)

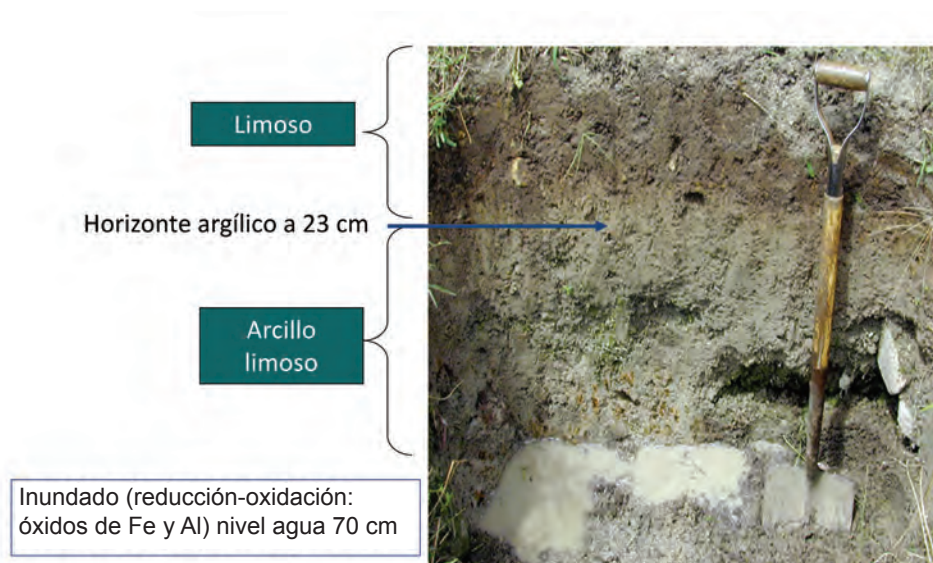


Figura 5. Perfil del suelo Ultisol (Endoaquult), setiembre 2021, del ensayo a largo plazo en sistemas agroforestales con café, Turrialba, Costa Rica. Foto tomada de McDaniel y Kass (2001)

- Depositiones aluviales más recientes.
- Sin acumulación de arcilla en subsuelo.

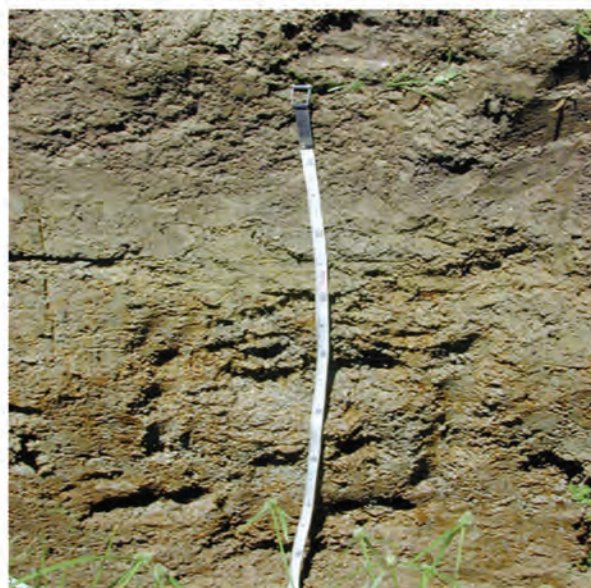


Figura 6. Perfil del suelo Inceptisol (Fluvaquentic endoaquept), setiembre 2001, del ensayo a largo plazo en sistemas agroforestales con café, Turrialba, Costa Rica. Foto tomada de McDaniel y Kass (2001)

En la fase de establecimiento se tomaron muestras de suelo en seis puntos a tres profundidades en cada una de las 60 parcelas de investigación. Las muestras recolectadas se montaron en una colección de suelo original que permanece guardada para análisis futuros eventuales con el fin de explorar los posibles cambios a lo largo del tiempo.

b) Condiciones climatológicas

Las características del clima, basadas en datos de la estación climatológica de CATIE para la época del

establecimiento del ensayo, indicaban los siguientes promedios anuales: precipitación 2651 mm, temperatura 21,8°C, humedad relativa 88% y radiación solar 16,9 MJ/m² (Virginio Filho *et al.* 2002).

Dada la relevancia de las interacciones biofísicas estudiadas y el comportamiento histórico del clima, se hizo una categorización por décadas de algunas variables climáticas del área del ensayo (Cuadro 2). Para una mejor contextualización del clima a lo largo del tiempo, se inició la categorización de variables con

Cuadro 2. Cambios y variabilidad climática en el sitio del ensayo a largo plazo en sistemas agroforestales con café, Turrialba, Costa Rica

Décadas evaluadas	Precipitación promedio anual (mm)	Humedad relativa promedio anual (%)	Temperatura (°C)			Radiación promedio anual (MJ/m ²)
			Promedio anual	Promedio anual de máximas	Promedio anual de mínimas	
1969-1979	2704,1	87,5	21,4	26,7	18	18,4
1980-1990	2495,9	88,5	21,7	27	18,1	16,3
1991-2001	2872,7	88,2	22	28,5	18,2	16,1
2002-2012	2988,6	90,4	22,1	27,9	18,4	15,8

Fuente: elaboración con datos de la estación meteorológica del CATIE. Tomado de Virginio Filho *et al* (2018)

dos décadas de anticipación al establecimiento del ensayo, tomándose como base el año 1969. En síntesis, el comportamiento de las variables climáticas ha estado marcado por incrementos importantes de los promedios anuales de precipitación, humedad relativa y temperaturas máximas y por una reducción en la radiación promedio anual.

Gestión de la plataforma de investigación

Desde su concepción, los ensayos de largo plazo en café (tanto en Nicaragua, en la zona baja seca de Masatepe), como el ensayo en CATIE, Turrialba, Costa Rica, fueron establecidos para ser plataformas de colaboración dinámica entre investigadores, estudiantes, personal técnico, productores, organizaciones e instituciones vinculadas con la generación de conocimientos enfocado en la promoción de enfoques sostenibles y agroecológicos para la caficultura. En este sentido, se pueden describir dos fases marcadas en el desarrollo de la gestión de los estudios de largo plazo:

a) Primera fase de planificación y establecimiento (2000 a 2004)

Desde su fase inicial, el ensayo de largo plazo SAF café, establecido en Turrialba contó con un comité técnico-científico directivo, conformado por tres especialistas del proyecto CATIE-MIP-AF/NORAD, incluido el coordinador del ensayo en la sede de CATIE. Por su parte, un asistente asumió la función de ejecución y coordinación de actividades de campo.

La fase de planificación y establecimiento (2000 y 2001) contó con los aportes de un comité técnico-científico asesor integrado por personal de CATIE y CIRAD. Para esta fase, hubo aportes complementarios de técnicos del ICAFE, Turrialba, de la Wisconsin University y de la University of Maryland.

A partir del 2002, se estableció de manera más formal, un vínculo entre el comité-técnico científico directivo, el comité técnico-científico asesor y profesores investigadores de la Universidad de Costa Rica (UCR), en particular de la carrera de Agronomía del campus de Turrialba, quienes pasan a integrar la plataforma científica y a colaborar con diferentes acciones hasta el presente.

En esta primera fase de planificación y establecimiento, fue constituido un comité asesor de productores (Figura 7) que, en colaboración con la coordinación del ensayo y el comité técnico-científico, intercambiaban criterios importantes para la consolidación de los protocolos del manejo del ensayo de largo plazo. Integraron este comité, miembros de la Asociación de Productores Orgánicos de Turrialba (APOT) y productores convencionales de Turrialba. También aportaron a este comité, el encargado de café orgánico comercial de CATIE y los técnicos de la oficina regional del ICAFE en Turrialba. Para este proceso el comité técnico-científico asesor contaba con los aportes de investigadoras de la UCR y una especialista en agricultura orgánica de CATIE.

Durante la fase de establecimiento, los intercambios de criterios con el Instituto del Café de Costa Rica, fueron muy útiles para afinar el protocolo de manejo de los diferentes sub-tratamientos. En junio del 2003 se realizó un intercambio entre técnicos/especialistas del ICAFE y el comité técnico-científico del ensayo de largo plazo. En este intercambio se analizaron temas claves como: el sistema de poda de cafetos, estrategias de control de plagas y enfermedades, manejo de la sombra, así como el primer estudio de calidad de café realizado con el apoyo de un pasante de la UCR. Se acordó también iniciar el proceso de socialización de las experiencias con productores y personal técnico de café del país, considerando los avances logrados en la fase inicial de establecimiento.



Figura 7. Intercambio entre el comité de productores y personal científico CATIE-UCR- Setiembre de 2003, ensayo a largo plazo en sistemas agroforestales con café, Turrialba, Costa Rica. Foto: Ensayo SAF Café- CATIE

b) Segunda fase - intensificación de monitoreo y estudios (2005-2020)

A partir del 2005, superados los grandes retos de la fase de establecimiento, el ensayo de largo plazo experimentó una intensificación de estudios y monitoreos. La gestión del experimento pasó a estar concentrada en la coordinación general del ensayo y el comité técnico-científico directivo en contacto directo con diferentes grupos y proyectos de investigación. Al inicio de esta segunda fase se incorporó al comité asesor el especialista en bioestadística de CATIE, quien con su equipo pasó a apoyar el proceso de la planificación de las investigaciones y de análisis de datos generados por diferentes estudios.

En el 2007 el ensayo pasó a vincularse a la Plataforma Científica Sobre Sistemas Agroforestales a Base de Cultivos Perennes en Mesoamérica (PCP), coordinada por CIRAD y con la participación de diferentes organismos internacionales (CATIE, Bioversity International, CABI, IICA, World Agroforestry Centre, INCAE y PROMECAFE) alcanzando aproximadamente 60 investigadores para el año 2017. El objetivo del PCP es “Contribuir al incremento de la productividad, competitividad, y sostenibilidad de los sistemas agroforestales con cultivos perennes en Mesoamérica”, y el ensayo SAF café aportó y aporta, de manera oportuna,

un espacio para la generación de investigaciones de manera interdisciplinaria e interinstitucional.

Mantener actualizada la generación y el registro de datos de los distintos temas y variables de estudio ha sido todo un reto a lo largo del tiempo. El equipo base de coordinación y de seguimiento de campo del ensayo ha tenido en la estrategia de colaboración con diferentes universidades nacionales e internacionales, un apoyo relevante con el programa de pasantías e intercambios académicos. Lo anterior ha permitido la conformación de una base de datos histórica robusta para muchas variables clave, como el aporte de 83 pasantes (44 mujeres, 39 hombres) de 36 universidades y siete instituciones de diferentes países (Alemania, Brasil, España, Honduras, Canadá, Colombia, Costa Rica, Francia, México, Puerto Rico, Reino Unido, Suiza, EUA) (Cuadro 3). Los pasantes, al mismo tiempo que fortalecieron sus capacidades y entendimiento sobre las interacciones agroecológicas, brindaron información relevante para los propósitos de la plataforma de estudio. De igual forma, el equipo de trabajadores de campo se especializó en monitoreo a fin de complementar los esfuerzos de generación de datos. Además, los investigadores y estudiantes de pregrado y posgrado, que desarrollaron diferentes investigaciones tuvieron un rol protagónico en la generación de datos.

Cuadro 3. Universidades (36) e instituciones (7), número de pasantes (83) del ensayo a largo plazo en sistemas agroforestales con café, 2002-2020, Turrialba, Costa Rica

Periodo	Número de pasantes/género	Institución/país
2020	1 (F)	Universidad Tecnológica de Pereira, Colombia
2019	1 (F)	Eco-sur, México
2019	1 (M)	Bern University of Applied Sciences, Suiza
2019	1 (F)	Universidade Federal do Oeste de Pará -UFOPA, Brasil
2018	1 (F)	University of Toronto, Canadá
2018, 2013	2 (1 F, 1 M)	AgroSupDijon, Francia
2018	1 (M)	Universidad de Puerto Rico, Puerto Rico
2017	1 (F)	Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, Brasil
2017, 2012, 2011, 2010, 2002	8 (5 F, 3 M)	Universidade de São Paulo (USP), Brasil
2017	1 (F)	SUPAGRO, Francia
2017, 2016, 2014	3 (2 F, 1 M)	Université de Lorraine (ENSAIA), Francia
2017	1 (M)	Universidad Autónoma de Chapingo, México
2016, 2013	2 (M)	Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales (UDCA), Colombia
2016, 2015	4 (2 F, 2 M)	AgroParisTech, Francia
2015	3 (2 F, 1 M)	Bordeaux-Sciences Agro, Francia
2015, 2013, 2012, 2007, 2003	5 (1 F, 4 M)	Universidad de Costa Rica (UCR), Costa Rica
2015	1(M)	Universidad de Nottingham, Reino Unido
2012	1 (F)	Universidad Nacional de Agricultura (UNA), Honduras
2012, 2002	4 (2 F, 2 M)	Universidad Nacional (UNA), Costa Rica
2011	1 (F)	Ecole Supérieure d'agro-développement international (ISTOM), Francia
2011, 2008, 2003	5 (1 F, 4 M)	Universidade Estadual Paulista (UNESP), Brasil
2011	1 (M)	Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Brasil
2011	1 (F)	Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Brasil
2011, 2008	2(1 F,1 M)	Yale University, EUA
2010	2 (1 F, 1 M)	Instituto Tecnológico de Costa Rica (ITCR), Costa Rica
2010	1 (M)	CENARGEN-EMBRAPA, Brasil
2009, 2007, 2005	3 (F)	ENITA de Clermont-Ferrand, Francia
2009	1 (F)	Colegio Técnico Profesional de Pacayas, Costa Rica
2008, 2007	2 (1 F, 1 M)	Universidad de Tolima, Colombia
2008	1 (F)	Purdue University, EUA
2007	1 (F)	Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIA), Venezuela
2007	1 (M)	University of Geisenheim, Alemania
2007, 2005	3 (2 F, 1 M)	Colegio Técnico Profesional de Santa María de Dota, Costa Rica
2006	1 (F)	George-August Universitat Tottingen, Alemania
2005	2 (1 F, 1 M)	Universidade Federal de Lavras, Brasil
2005	1 (F)	École Nationale Supérieure D'Agromonie et des industries Alimentaires (L'ENSAIA), Francia
2004	2 (F)	Colegio Técnico Profesional de Liberia, Costa Rica
2003	1 (M)	Universidad de Barcelona, España
2002	2 (M)	Colegio Técnico Profesional de Upala, Costa Rica
2002	1 (F)	Hamburgo University, Alemania
2002	1 (M)	The University of Vermont, USA
2002	4 (2 F, 2 M)	Colegio Técnico Profesional de la Suiza, Costa Rica
2002	1 (M)	Universidad de Bonn, Alemania

La generación de datos, en diferentes estudios, tuvo apoyos importantes en términos de servicios de laboratorio en los que se destacan los laboratorios de CATIE (suelos, raíces, fitoprotección), laboratorio de fitopatología de la UCR y el laboratorio de calidad del ICAFE. Desde el punto de vista de logística, el ensayo contó en diferentes momentos con los apoyos importantes de empresas como el beneficio Santa Rosa, Cafetalera Aquiares y Hacienda Juan Viñas, así como de la Asociación de Productores Orgánicos de Turrialba.

c) El reto del financiamiento de estudios a largo plazo

Para la ciencia agroforestal es determinante poder entender las interacciones agroecológicas en los ciclos largos de sistemas productivos con cultivos perennes (café, cacao, cítricos y otros frutales). Sin embargo, previo al ensayo de largo plazo establecido por CATIE y colaboradores, no había registro de experimentos similares. Una de las razones estaba relacionada con la financiación de dichos experimentos, pues en general, los ciclos de los proyectos de investigación y desarrollo difícilmente llegan a cinco años, a pesar de que se sabe que los ciclos productivos de café y otros cultivos perennes pueden pasar los 25 años.

Para el establecimiento (los primeros tres años) del ensayo de largo plazo de Turrialba, fue determinante el apoyo financiero del proyecto CATIE-MIP-AF/NORAD y de la finca del CATIE. El compromiso asumido por CATIE era el de mantener el experimento al menos por 20 años. En este sentido, la coordinación del ensayo, conjuntamente con la dirección general y administración del CATIE, estableció arreglos de gestión que fueron base para la sostenibilidad mínima de fondos para el manejo del ensayo durante este periodo. El acuerdo contempló la decisión de dar a la coordinación del experimento, la posibilidad de utilizar toda el área requerida, equivalente a 9,25 ha (área de parcelas experimentales y bordes), para producción y comercialización de la cosecha de café, de manera que los fondos generados fueron reinvertidos en el manejo básico del experimento.

Para los primeros tres años se invirtieron aproximadamente US\$20 000 por año. Entre el período 2003 y 2012, coincidente con el período de mayor producción de café, se gastó en el mantenimiento del experimento un aproximado promedio por año de US\$34 600. Para el período posterior a 2013 los gastos promedios anuales fueron de aproximadamente US\$35 700. Este último

período fue marcado por la reducción de ingresos por cosecha de café en función del fuerte impacto generado por la roya del café (*Hemileia vastatrix*). Los gastos de mantenimiento de ensayo, en su gran mayoría, estuvieron vinculados con actividades de manejo de las diferentes parcelas. En este sentido, los investigadores involucrados tuvieron que negociar de manera continua diferentes fondos para la conducción de las investigaciones a lo largo del tiempo. Los proyectos, que han financiado diferentes estudios en el ensayo se indican en el Cuadro 4.

Cuadro 4. Proyectos que financiaron estudios en el ensayo de largo plazo en sistemas agroforestales con café, Turrialba, Costa Rica

Período	Proyecto
2000, 2001, 2002, 2003	CATIE-MIP-AF/NORAD
2003, 2004	University of Maryland
2007, 2008, 2009, 2010, 2011, 2012	Innovaciones-CATIE/NORAD
2010	CAFNET-CATIE-CIRAD/UE
2011, 2013	BIOVERSITY-CATIE
2014, 2015	FTA-CATIE
2014, 2015, 2016, 2017	MACACC-CATIE-CIRAD/ARNAgrobiosphere
2015	Universidad de Nottingham-CATIE
2016	ANAEE-CoffeeFlux-CIRAD-CATIE
2016, 2017	Universidad de Toronto-CATIE
2017, 2018	PCP-CIRAD-CATIE
2018, 2019, 2020, 2021	CATIE-PROCAGICA-IICA/UE
2020 - 2021	SEACAF-Universidad de Greenwich-CATIE

Otra fuente complementaria importante de recursos para el apoyo de las investigaciones fueron los presupuestos específicos de tesis de grado y posgrado desarrollados a lo largo del tiempo (Cuadro 6).

PRODUCTOS, RESULTADOS Y DISCUSIÓN

a) Las prácticas que hicieron posible el establecimiento del ensayo de largo plazo

Sin lugar a duda, uno de los primeros resultados más importantes del ensayo de largo plazo fue la consolidación de su establecimiento en condiciones de sitio críticas. Especialistas en suelo consideraban que el nivel freático superficial podría inviabilizar el establecimiento del ensayo (McDaniel y Kaas 2001). Sumado a lo anterior, había limitantes vinculadas a:

1. Historia del uso del suelo con caña mecanizada (tres años antes del establecimiento) y, anteriormente, pasto.
2. Aunque hubo preparación del terreno antes del establecimiento del ensayo, el suelo presentaba cierta compactación que, asociado a limitantes en drenaje, generó dos situaciones críticas: en los momentos de lluvia había muchos puntos de encharcamiento superficial y cuando había sol fuerte, el suelo se secaba rápidamente.
3. En el complejo de hierbas naturales predominaban gramíneas muy agresivas que competían fuertemente con los cafetos establecidos.
4. Suelo con capa fértil superficial, con tendencia a acidez fuerte.
5. La idea del ensayo era establecer desde cero, todos los sistemas; en este sentido, cafetos y árboles fueron sembrados juntos, y en las primeras fases del establecimiento, la incidencia del sol sobre las plantas era muy fuerte.

Durante los primeros siete meses de establecimiento, el cuadro general de los cafetos sembrados no fue alentador. Había competencia de malas hierbas, pocas hojas y poco vigor, principalmente en los manejos orgánicos (Figura 8). Un punto crítico fue plantar cafetos a raíz desnuda, que durante el traslado y tiempo de espera para la siembra, pudo afectar el establecimiento adecuado de las plantas.



Figura 8. Poco desarrollo y vigor de cafetos y presión de malezas al final del séptimo mes del establecimiento del ensayo de largo plazo en sistemas agroforestales con café, Turrialba, Costa Rica. Foto: E. de M. Virginio Filho

Durante este periodo, se inició un intenso proceso de reflexión para ajustar las condiciones del sitio y así viabilizar el establecimiento de 20 sistemas de producción con diferentes tipos e intensidades de manejo; sin embargo, las acciones desarrolladas en los primeros 12 meses todavía no daban los resultados esperados. En un informe de asesoría en septiembre de 2001, un experto internacional en agroecología, preocupado con el tamaño del ensayo y con las señales de degradación del suelo por anegación y usos previos indicó: *“Es un momento ideal para reflexionar sobre la posibilidad y el compromiso real de los investigadores de mantener y de monitorear como es debido este ensayo de 20 años...será necesario tomar decisiones tales como eliminar un bloque (el que se está comportando peor)...”*(Altieri 2001).

Para ese momento se intensificaron e incrementaron las estrategias para habilitar las condiciones mínimas del sitio con el propósito de rescatar todos los tratamientos y sus repeticiones y, en especial, los manejos orgánicos que sufrieron más en la siembra inicial. Las estrategias implementadas fueron:

1. Desde el primer momento se inició un plan de mejoramiento del drenaje en toda el área, pero como solo se pudo usar maquinaria en los bordes del ensayo (Figura 9), el sistema de drenaje se concluyó después de dos años de trabajo con el apoyo de los obreros, quienes poco a poco establecieron, a pico y pala, un sistema interno de drenaje entre los bordes de las diferentes parcelas.
2. Al final de los primeros nueve meses, el porcentaje de pérdida de cafetos en el sistema bajo orgánico fue de 30%; en el orgánico intensivo y manejos convencionales (moderado y alto), no pasó del 20% (Virginio Filho *et al.* 2002). Para la resiembra de cafetos muertos, en los manejos orgánicos ya no se utilizaron plantas a raíz desnuda y se pasó a sembrar cafetos en bolsa. Al menos en el bloque tres, fueron resembradas todas las plantas de las parcelas orgánicas. Ante las dificultades con el establecimiento de plantaciones nuevas de café orgánico en suelos con historial de limitantes críticas, el equipo de investigación, previo al establecimiento del ensayo, buscó experiencias de cafetales orgánicos iniciados desde cero en Costa Rica, pero no se encontraron (Virginio Filho *et al.* 2002). Las experiencias encontradas eran siempre de cafetales que fueron establecidos como convencionales y que luego pasaron a manejo orgánico. Hoy en día hay conocimientos y experiencias más sólidas al respecto.
3. Considerando las limitantes de acidez, se aplicó carbonato de calcio en la banda de fertilización de los cafetos en el primer y segundo año del establecimiento. Se

inició con un trabajo de monitoreo en la calidad de los abonos orgánicos utilizados y se hicieron ajustes en el programa de fertilización de los manejos orgánicos.

Los aprendizajes sobre la nutrición de cafetales orgánicos en esta fase fueron muy importantes y al respecto, el equipo de investigadores que conducían el experimento indicó (Virginio Filho *et al.* 2002):

“Los suelos con limitantes químicas y físicas y/o degradados, ameritan una atención especial en su recuperación para la producción orgánica de café, principalmente con el supuesto de que no se dispondría de mejores terrenos para su establecimiento. Fertilización orgánica: un suelo con buenas referencias de fertilidad en base a análisis (químicos) de suelo no debe ser el parámetro principal para orientar una fertilización inicial de un cafetal orgánico. Los antecedentes de mecanización y cultivo intensivo de caña son indicativos de problemas importantes en cuanto a compactación y supresión de la actividad biológica del suelo. La fertilización orgánica no puede tampoco basarse en la pura referencia de contenidos de nutrientes en comparación con los fertilizantes sintéticos. Los ajustes en la fertilización orgánica fueron una condición clave en la recuperación de los sub-tratamientos orgánicos del ensayo, en particular de los orgánicos (intensivos). Como procedimiento más apropiado, la fertilización orgánica debería empezar antes de la siembra del café, lo anterior, con el propósito de potencializar el proceso de activación de la biología del suelo. Por otro lado, a partir de la siembra en la fertilización orgánica, los volúmenes de abono deben ser considerables, principalmente para terrenos con limitantes, de tal manera que se puedan generar las condiciones deseadas. La combinación de enmiendas orgánicas puede resultar muy positiva tanto por la facilidad de obtención como por la complementariedad de aporte nutricional. La utilización de abonos orgánicos de origen animal como la pollinaza resultó ser muy positiva con relación a la respuesta obtenida en campo.”

4. Dada la agresividad de las hierbas competidoras al inicio del ensayo fue necesario, en los manejos orgánicos, hacer una secuencia única de tres aplicaciones de herbicidas en parchoneo dirigido a las peores hierbas. También se hicieron chapias sucesivas y diferentes estrategias de control (extracción con raíz de hierbas peores, sombra temporal, manejo de cobertura muerta). A partir del segundo año se implementó

de manera normal el protocolo de manejo selectivo de hierbas del suelo buscando presionar las hierbas competidoras y favorecer la propagación de hierbas de buena cobertura presentes naturalmente en los manejos MO, BO y MC. En los primeros años para los tres manejos anteriores, se incluyó el uso de motoguadaña para el control selectivo de hierbas. Para los manejos AC el protocolo indicaba la eliminación total de hierbas con herbicida.

5. Sombra temporal con *Ricinus* sp. (higuerilla) en todos los 18 tratamientos con sistemas agroforestales



Figura 9. Mejoras del drenaje en límites exteriores de las parcelas del ensayo de largo plazo en sistemas agroforestales con café, Turrialba, Costa Rica, julio 2002. Foto: E. de M. Virginio Filho.

Las diferentes estrategias y prácticas implementadas durante los primeros 15 meses del ensayo, fueron determinantes para superar las limitantes iniciales del sitio y concretar así el establecimiento de los tres bloques con las 60 subparcelas y, en especial, las parcelas orgánicas que habían experimentado las mayores dificultades (Figura 10). A los 18 meses de edad, el ensayo superó la fase crítica del establecimiento e inició el protocolo de manejo planificado para las investigaciones de largo plazo (Virginio Filho *et al.* 2002).



SAF Cashá -Manejo orgánico intensivo- 2001
(muy poco desarrollo inicial)



SAF Cashá -Manejo orgánico intensivo- 2005 (mejor vigor luego de superada las limitantes iniciales del sitio).

Figura 10. Rescate de parcelas orgánicas desde la siembra nueva en el ensayo de largo plazo en sistemas agroforestales con café, Turrialba, Costa Rica. Se observa el contraste entre el año 2001 y 2005. Fotos E. de M. Virginio Filho..

b) Registros y base de datos históricos

Durante dos décadas se ha elaborado una amplia base de datos con variables del suelo, cafetos, árboles y clima relacionadas a los 20 sistemas en estudio. El Cuadro 5 presenta una síntesis general del tipo de datos gene-

rados. Uno de los atractivos más importantes para las personas investigadoras es el hecho de disponer de una base de datos histórica que permite generar resultados nuevos con mayor capacidad de análisis sobre las distintas interacciones agroecológicas a lo largo del tiempo.

Cuadro 5 Componentes de la base de datos histórica del ensayo de largo plazo en sistemas agroforestales con café, Turrialba, Costa Rica

Información disponible	Años
Registros diarios de actividades de manejo y monitoreo (labores, tiempos, insumos, etc.)	2000 a 2020
Análisis del suelo:	
a) Química del suelo	a) 1999, 2001, 2004, 2007, 2010, 2015, 2017
b) Física del suelo	b) 2001, 2002, 2003, 2004, 2017
c) Tipos de coberturas (hojarasca, buena cobertura, malas hierbas, suelo desnudo)	c) 2002, 2005, 2008
Macrofauna del suelo (lombrices):	
a) Abundancia, volumen	a) 2003, 2005, 2008, 2012, 2013, 2016
b) Diversidad	b) 2003
Microfauna y mesofauna del suelo:	
a) Complejo microbial (hongos fitopatógenos, hongos saprófitos, bacterias aerobias, bacterias anaerobias, actinomicetos, bacterias fijadoras de nitrógeno, enterobacterias, pseudomonas) y reacción catalasa como indicador de vida del suelo	a) 2020
b) Biomasa microbial	b) 2004
c) Nemátodos	c) 2003, 2017
d) Mesofauna	d) 2017
Información climatológica: (precipitación, radiación solar, temperaturas, evapotranspiración, humedad relativa, velocidad del viento) (Estación CATIE y otras estaciones cercanas)	2000 a 2020

Información disponible	Años
Información microclimática y fisiológica del café (temperatura, humedad, radiación, sombra, evapotranspiración, velocidad del viento, etc.) (Proyecto MACACC- COFFEEFLUX, medición segundo a segundo de variables con torres de flujo en sistema agroforestal y en pleno sol)	2014 a 2017
Cafetos:	
% de sobrevivencia	2001
Datos de resiembras	2002 a 2006
Desarrollo (altura, diámetro, ramas totales, ramas productivas)	2002, 2014
Vigor	2006, 2017
Complejo de plagas y enfermedades, controladores naturales (datos mensuales)	2002 a 2020
Comportamiento de la floración	2005 a 2020
Histórico de producción de café (Caturra, Costa Rica 95, Centroamericano y Milenio, otros híbridos F1)	2004 a 2020
Evaluación de calidad de café (sanidad ¹ , rendimiento ¹ y catación ²)	2003 ¹² , 2004 ¹² , 2018 ¹
Agotamiento de cafetos poscosecha (intensidad y tipos de poda)	2003 a 2017
Análisis químico foliar	2001
Análisis químico de frutos de café	2004
Costos e ingresos anuales, rentabilidad:	
a) Costos e ingresos (venta de café, madera y leña)	a) 2000 a 2020
b) Rentabilidad de los sistemas	b) 2010, 2017
Datos silviculturales:	
a) % de sobrevivencia de árboles	a) 2001
b) Cobertura de sombra	b) 2002, 2004, 2005, 2008, 2011, 2012, 2013, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018, 2019
c) Desarrollo de los árboles (diámetros, altura, copa)	c) 2001, 2003, 2004, 2005, 2008, 2014, 2018, 2019
d) Reducción de la densidad de árboles/área (raleos)	d) 2007, 2008, 2009, 2010, 2011, 2012, 2013, 2014, 2018
e) Volumen de raíces y nodulación en <i>C. eurycyclum</i>	e) 2008
Biomasa de los SAF (volumen, nutrientes)	2004, 2005, 2006, 2010, 2017, 2019
Servicios ambientales (datos integrados hábitat, carbono suelo, C cafetos, C árboles y agua)	2000 a 2009, 2010, 2016
Biodiversidad de la fauna:	
a) Aves	a) 2008, 2017
b) Mamíferos	b) 2008
c) Insectos	c) 2001, 2008
Biodiversidad de flora:	
a) Hierbas del suelo	a) 2002, 2005, 2008
b) Epífitas	b) 2017

c) Producción académica y técnica-científica

La plataforma del ensayo de largo plazo desarrolló durante las dos primeras décadas, 41 tesis e investigaciones con un promedio de dos estudios por año, de las cuales 22 fueron de maestría, 11 de grado, 6 de

doctorado y 2 de posdoctorado. Lo anterior es evidencia del esfuerzo colaborativo con 22 universidades e instituciones de varios países. El CATIE apoyó a 18 estudiantes de tesis en sus programas de maestría y doctorado (Cuadro 6).

Cuadro 6. Tesis y estudios de investigación desarrolladas en el ensayo de largo plazo en sistemas agroforestales con café, Turrialba, Costa Rica

Periodo	Nivel	Autor	Título	Institución/universidad
2020	Doctorado	Liliana Bueno López	Complejo microbial en suelos de sistemas de café agroforestales, con 20 años de establecimiento	Universidad Tecnológica de Pereira, Colombia/CATIE
2020	Doctorado	Emmanuel Lasso	Discovering weather periods and crop properties favorable for coffee rust incidence from feature selection approaches	Universidad de Cauca, Colombia
2019	Posdoctorado	Marie Sauvadet	Shade trees have higher impact on soil nutrient availability and food web in organic than conventional coffee agroforestry	Eco&Sols, Univ Montpellier, IRD, INRA, Francia
2019	Grado	Juliana Fiallos Rocha	O papel dos sistemas agroflorestais na conservação e restauração de plantas epífitas (orquídeas e bromélias): um estudo com cafeeiro sombreado em Turrialba - Costa Rica	USP, Brasil
2018	Doctorado	Gerardo García Nevárez	Evaluación de la calidad y métodos de producción de Bioplaguicidas para el manejo de <i>Hemileia vastatrix</i> en plantaciones de café	CATIE
2018	Maestría	Víctor Roberto Naranjo Zúñiga	Evaluación del efecto de diferentes manejos de nutrición y sombra sobre la resistencia fisiológica de la planta de café (<i>Coffea arabica</i>) a la roya (<i>Hemileia vastatrix</i>), en discos de hoja en condiciones controladas de laboratorio	CATIE
2017	Doctorado	Nilovna Chatterjee	Soil carbon sequestration under shaded perennial agroforestry systems for climate change mitigation	University of Florida, USA
2017	Grado	Isabella Quatrochi Soncim	Rentabilidade Económica de Sistemas Agroflorestais con café: estudo de longo prazo em Turrialba, Costa Rica	USP, Brasil
2016	Maestría	Marta Beatriz Segura Escobar	Efectos de la sombra en el cultivo del café sobre los procesos de esporulación, dispersión a través del agua y deposición, de <i>Hemileia vastatrix</i> , en Turrialba, Costa Rica	CATIE
2016	Maestría	Alejandro Brenes Loaiza	Efecto de la sombra y el microclima sobre los procesos de colonización, esporulación y dispersión aérea de la roya (<i>Hemileia vastatrix</i>) sobre plantas de café (<i>Coffea arabica</i>) en la zona de Turrialba, Costa Rica	CATIE
2016	Grado	Néstor David Lemus Zamudio	Agotamiento en plantas de café en respuestas a poda en diferentes sistemas agroforestales en contraste con producción en pleno sol	UDCA, Colombia
2015	Maestría	Oriana Carolina Ovalle Rivera	Impacto del cambio climático en la productividad del café (<i>Coffea arabica</i>) bajo sistemas agroforestales en Costa Rica y Nicaragua	CATIE
2015	Grado	Eduardo Granados Brenes	Evaluación de la incidencia y severidad de <i>Hemileia vastatrix</i> en plantas de café bajo diferentes intensidades de sombra y estrategias de manejo	UCR
2015	Maestría	Maxime Soma	On the relationship between structure and canopy temperature in stands: comparing Shaded and Full-Sun situations in a coffee agroforestry trial in Costa Rica	AgroParisTech, Université de Lorraine, CIRAD, Francia
2014	Posdoctorado	Adam Martin	Causes and consequences of intraspecific trait plasticity of Coffee in agroforestry systems	University of Toronto, Canadá.
2014	Maestría	Stephanie Gagliardi	Intraspecific trait plasticity in coffee agroforestry systems of Costa Rica	University of Toronto, Canadá.
2014	Maestría	Jimmy Trinidad Pico Rosado	Efecto de la sombra del café y el manejo sobre la incidencia, severidad, cantidad de inóculo y dispersión de <i>Hemileia vastatrix</i> en Turrialba, Costa Rica	CATIE
2014	Maestría	Ana Lucía Milagros Vásquez Vela	Valoración comparativa de la macrofauna de lombrices en sistemas agroforestales de café orgánico y convencional en contraste con cultivos en pleno sol y bosque, durante la época lluviosa y seca en Turrialba, Costa Rica	CATIE
2014	Grado (práctica académica)	Isabelle Merle	Efecto de la sombra y del microclima sobre la dispersión de las uredosporas de <i>Hemileia vastatrix</i> en sistemas agroforestales de café (<i>Coffea arabica</i> var. Caturra) en Turrialba, Costa Rica	ENSAIA, Francia
2013	Maestría	Jake Warner Munroe	Nutrient Availability in the Rhizosphere of Coffee: Shade-Tree and Fertilization Effects	University of Toronto, Canadá.
2012	Doctorado	Martín Raimo Andreas Noponen	Carbon and economic performance of coffee agroforestry systems in Costa Rica and Nicaragua	Bangor University, CATIE
2012	Maestría	Leslie Campbell	Biophysical drives of tree crop performance in shade agroforestry systems: the case of coffee in Costa Rica	University of Toronto, Canadá.
2012	Grado	Litza Tatiana López Díaz	Producción de raíces finas y micorrización en café (<i>Coffea arabica</i> L) cultivado bajo sistema convencional y orgánico en Turrialba, Costa Rica	UNA, Honduras

Periodo	Nivel	Autor	Título	Institución/universidad
2011	Doctorado	Argenis Mora Garcés	Characterization of the spatial variability of soil properties and coffee fine roots in shade tree-coffee associations under organic and conventional management practices	CATIE
2011	Maestría	Esteban Sánchez González	Efecto de la sombra y del manejo del café sobre la dinámica poblacional de (<i>Hypothenemus hampei</i> Ferrari) en frutos nuevos y remanentes en Turrialba	CATIE
2011	Maestría	Esteban Rossi	Effects of management practices on coffee productivity and herbaceous species diversity in agroforestry systems in Costa Rica	Yale University,, USA Tropical Resources Institute (tesis corresponde al capítulo 9 del libro Agroforestry as a tool for landscape restoration.)
2011	Maestría	Meredith Cowart	Shade and Management Effects on Soil Carbon Fractions in Organic and Conventional Coffee Agroforestry Systems in Costa Rica	Yale University, USA Tropical Resources Institute
2010	Maestría	Jhenny Liliana Salgado Vásquez	Fijación de carbono en biomasa aérea y rentabilidad financiera de sistemas agroforestales con café en Turrialba, Costa Rica y Masatepe, Nicaragua	CATIE
2010	Maestría	Donal Fernando López Bravo	Efecto de la carga fructífera sobre la roya (<i>Hemileia vastatrix</i>) del café, bajo condiciones microclimáticas de sol y sombra, en Turrialba, Costa Rica	CATIE (Desarrollado en bordes del Ensayo)
2010	Grado	Pablo Andrés Montenegro Salas	Monitoreo fitosanitario y productivo de sistemas agroforestales en café (<i>Coffea arabica</i>) (CR 95, Caturra, F1), Amarillón (<i>Terminalia amazonia</i>), Cashá (<i>Chloroleucon</i> sp.) y Poró (<i>Erythrina poeppigiana</i>) bajo manejos convencionales y orgánicos en Turrialba, Costa Rica	Instituto Tecnológico de Costa Rica
2010	Grado	Jennifer Hernández Aguilar	Incidencia de enfermedades foliares del café bajo diversos tipos de sombra y manejo de insumos, en sistemas agroforestales, Turrialba, Costa Rica	Instituto Tecnológico de Costa Rica
2009	Maestría	Sylvie Remal	Conceptual and numerical evaluation of a plot scale, process-based model of coffee agroforestry systms in Central America: CAF2007	Supagro Montpellier. Cirad, Francia
2008	Grado	Yuliney Perdomo Prada	Caracterización de aves, insectos y pequeños mamíferos en el ensayo de sistemas agroforestales en café del CATIE, Turrialba, Costa Rica	Universidad del Tolima. Colombia
2007	Maestría	Marvin Elimelet Merlo Cabellero	Comportamiento productivo del café (<i>Coffea arabica</i> var Caturra), el poró (<i>Erythrina poeppigiana</i>), el amarillón (<i>Terminalia amazonia</i>), y el cashá (<i>Chloroleucon eurycyclum</i>) en sistemas agroforestales bajo manejos convencionales y orgánicos en Turrialba, Costa Rica	CATIE
2007	Grado	Christian Dold	Musa in shaded perennial crops- responce to light interception.	University of Geisenheim. (Evaluó luz en parcelas del Ensayo)
2006	Maestría	Siyyid Ali Romero López	Aporte de biomasa y reciclaje de nutrientes en seis sistemas agroforestales de café (<i>Coffea arabica</i> var. Caturra), con tres niveles de manejo	CATIE
2005	Maestría	Allison E. Henderson	Uso del hábitat y comunicación sexual de <i>Exopthalmus jekelianus</i> (White) (Coleoptera: Curculionidae) en cafetales en Costa Rica.	Universidad Simon Fraser, Canadá
2005	Maestría	Edilberto Javier Montenegro Gracia	Efecto del aporte de nutrientes de la biomasa de tres tipos de árboles de sombra en sistemas de manejo de café orgánico y convencional	CATIE
2004	Maestría	John Jairo Zuluaga Peláez	Dinámica de la materia orgánica del suelo en sistemas agroforestales de café con <i>Erythrina poeppigiana</i> (Walpers) O.F. Cook en Costa Rica	CATIE
2003	Grado (práctica académica)	Carlos Alberto Cordero	Estudio de la calidad de café en fruto <i>Coffea arabica</i> var. Caturra bajo diferentes sistemas de manejo orgánicos, convencionales y diferentes árboles de sombra del Ensayo de Sistemas Agroforestales en Café MIP-AF del CATIE cosecha 2002-2003	UCR-Universidad de Costa Rica, Costa Rica
2001	Maestría	Nadieja Barbera Castillo	Diversidad de especies de hormigas en sistemas agroforestales contrastantes de café, en Turrialba, Costa Rica	CATIE

Otro resultado académico relevante, producto de las investigaciones, fue la elaboración y publicación de artículos en revistas científicas importantes a nivel mundial.

Entre 2004 y 2020 se publicaron 23 artículos científicos, con promedio de un artículo por año, los cuales presentaron resultados novedosos sobre los diferentes temas de investigación (Cuadro 7).

Cuadro 7. Artículos publicados en revistas científicas en el marco del ensayo de largo plazo en sistemas agroforestales con café, Turrialba, Costa Rica

Año	Autores	Título	Fuente
2020	E. LASSO, D. CORRALES, J. AVELINO, E. DE M. VIRGINIO FILHO, J. CORRALES	Discovering weather periods and crop properties favorable for Coffee rust incidence from feature selection approaches	Computers and Electronics in Agriculture 176(2020) 105640 ELSEVIER
2020	O. VALLE-RIVER, M.VAN OIJEN, P. LÄDERACH, O. ROUPSARD, E. DE M. VIRGINIO FILHO, M. BARRIOS, RAPIDEL, B	Assessing the accuracy and robustness of a process-based model for coffee agroforestry systems in Central America	Agroforestry Systems (2020) https://doi.org/10.1007/s10457-020-00521-6
2019	J. AVELINO, S. VILCHEZ, M.B. SEGURA-ESCOBAR, M.A. BRENES-LOAIZA, E. de M. VIRGINIO FILHO, F. CASANOVES.	Shade tree <i>Chloroleucon eurycyclum</i> promotes coffee leaf rust by reducing uredospore wash-off by rain	Crop Protection 129(2020) 105038 ELSEVIER
2019	I.MERLE, P. TIXIER, E. de M. VIRGINIO FILHO, C. CILAS, J. AVELINO	Forecast models of coffee leaf rust symptoms and signs based on identified microclimatic combinations in coffee-based agroforestry systems in Costa Rica	Crop Protection 130(2020) 105046 ELSEVIER
2019	I.MERLE, J. PICO, E. GRANADOS, A. BOUDROT, P. TIXIER, E. de M. VIRGINIO FILHO, C. CILAS, J. AVELINO	Unraveling the complexity of Coffee leaf rust behavior and development in different <i>Coffea arabica</i> agroecosystems	Phytopathology 110(2020) 418-427 The American Phytopathological Society
2019	N. CHATTERJEE, P.K.R. NAIR, V.D. NAIR, A. BHATTACHARJEE, E. de M. VIRGINIO FILHO, R. MUSCHLER, M.R.A. NOPONEN	Do Coffee Agroforestry Systems Always Improve Soil Carbon Stocks Deeper in the Soil?—A Case Study from Turrialba, Costa Rica	Forests 2020, 11, 49; doi:10.3390/f11010049 www.mdpi.com/journal/forests
2018	M. SAUVADET, K. VAN DE MEERSCHE, C. ALLINNE, F. GAY, E. de M. VIRGINIO FILHO, M. CHAUVAT, T. BECQUER, P. TIXIER, J. HARMAND	Shade trees have higher impact on soil nutrient availability and food web in organic than conventional coffee agroforestry	Science of the Total Environment 649(2019)1065-1074 ELSEVIER
2018	R. VEZY, M. CHRISTINA, O. ROUPSARD, Y. NOUVELLON, R. DUURSMA, B. MEDLYN, M. SOMA, F. CHARBONNIER, C. BLITZ-FRAYRET, J. STAPE, J. LACLAU, E. de M. VIRGINIO FILHO, J. BONNEFOND, B. RAPIDEL, F.C. DO, A. ROCHETEAU, D. PICART, C. BORGONOVO, D. LOUSTAU, G. MAIRE	Measuring and modelling energy partitioning in canopies of varying complexity using MAESPA model	Agricultural and Forest Meteorology 253-254 (2018) 203-217 ELSEVIER
2017	F. SCHNABEL, E. de M. VIRGINIO FILHO, S. XU, I.D. FISK, O. ROUPSARD, J. HAGGAR	Shade trees: a determinant to the relative success of organic versus conventional coffee production	Agroforestry Systems 92(2018)1535-1549 SPRINGER
2017	M.E. ISAAC, A.R. MARTIN, E. de M. VIRGINIO FILHO, B. RAPIDEL, O. ROUPSARD, K. VAN DEN MEERSCHE	Intraspecific trait variation and coordination: root end leaf economics spectra in Coffee across environmental gradients	Frontiers in Plant Science 8(2017) 1-13 doi: 10.3389/fpls.2017.01196
2016	M.T.S. TREVISAN, R.F. ALMEIDA, G. SOTO, E. de M. VIRGINIO FILHO, C.M. ULRICH, R.W. OWEN	Quantitation by HPLC-UV of Mangiferin and Isomangiferin in Coffee (<i>Coffea arabica</i>) Leaves from Brazil and Costa Rica After Solvent Extraction and Infusion	Food Anal. Methods DOI 10.1007/s12161-016-0457-y SPRINGER
2016	A. BOUDROT, J. PICO, I. MERLE, E. GRANADOS, S. VILCHEZ, P. TIXIER, E. de M. VIRGINIO FILHO, F. CASANOVES, A. TAPIA, C. ALLINNE, R. RICE, J. AVELINO	Shade effects on the dispersal of airborne <i>Hemileia vastatrix</i> uredospores	Phytopathology, Ecology and Epidemiology, e-Xtra http://dx.doi.org/10.1094/PHYTO-02-15-0058-R The American Phytopathological Society
2016	A.R. MARTIN, B. RAPIDEL, O. ROUPSARD, K. VAN DEN MEERSCHE, E. de M. VIRGINIO FILHO, M. BARRIOS, M.E. ISAAC	Intraspecific trait variation across multiple scales: the leaf economics spectrum in Coffee	Functional Ecology doi: 10.1111/1365-2435.12790 2016 British Ecological Society
2015	S. GAGLIARDI, A.R. MARTIN, E. de M. VIRGINIO FILHO, B. RAPIDEL, M.E. ISSAC	Intraspecific leaf economic trait variation partially explains coffee performance across agroforestry management regimes	Agriculture Ecosystems and Environment 200(2015)151-160 ELSEVIER
2015	J.W. MUNROE, G. SOTO, E. de M. VIRGINIO FILHO, M.E. ISAAC	Soil microbial and nutrient properties in the rhizosphere of Coffee under agroforestry management	Applied Soil Ecology 93(2015)40-46 DOI: 10.1016/j.apsoil.2015.04.003 ELSEVIER

Año	Autores	Título	Fuente
2012	M.R.A. NOPONEN, G. EDWARDS-JONES, J.P. HAGGAR, G. SOTO, N. ATTARZADEH, J.R. HEALY	Greenhouse gas emissions in coffee grown with differing input levels under conventional and organic management	Agriculture, Ecosystems and Environment 151 (2012) 6– 15. ELSEVIER
2012	A. MORA, J. BEER	Geostatistical modeling of the spatial variability of Coffee fine roots under Erythrina shade trees and contrasting soil management	Agroforestry Systems 87(2013)365-376 SPRINGER
2012	D.F. LOPEZ-BRAVO, E.de.M. VIRGINIO FILHO, J. AVELINO	Shade is conducive to coffee rust as compared to full sun exposure under standardized fruit load conditions	Crop Protection 38 (2012)21-29. ELSEVIER
2011	J. HAGGAR, M. BARRIOS, M. BOLAÑOS, M. MERLO, P. MORAGA, R. MUNGUIA, A. PONCE, S. ROMERO, G. SOTO, C. STAVER, E. de. M. VIRGINIO	Coffee agroecosystem performance under full sun, shade, conventional and organic management regimes in Central America	Agroforestry Systems 82(2011)285-301 SPRINGER
2008	M.S.F. RICCI, E. de. M. VIRGINIO FILHO, J.R. COSTA	Diversidade da comunidade de plantas invasoras em sistemas agroflorestais com café em Turrialba, Costa Rica	Pesquisa Agropecuaria Brasileira 7(2008)825-834
2008	A.M. AQUINO, E. de. M. VIRGINIO FILHO, M.S.F. RICCI, F. CASANOVES	Populações de minhocas em sistemas agroflorestais com café convencional e orgânico	Cienc. Agrotec. 4(2008)1184-1188
2006	Y. S. LEÓN, E. de. MELO, G. SOTO, J. JOHNSON-MAYNARD, J. LUGO-PÉREZ	Earthworm Populations, Microbial Biomass and Coffee Production in Different Experimental Agroforestry Management Systems in Costa Rica	Caribbean Journal of Science, Vol. 42, No. 3, 397-409, 2006
2004	N. BARBERA, L. HILJE, P. HANSON, J.T. LONGINO, M. CARBALLO, E. de. MELO	Diversidad de especies de hormigas en un gradiente de cafetales orgánicos y convencionales	MIP-CR- 72(2004) 60-71

Además de la producción de tesis y artículos científicos en revistas especializadas, el ensayo ha contribuido con información para la elaboración de publicaciones (22) destinadas a distintos públicos.

d) Resultados generales de estudios realizados

Uno de los retos más importante para el equipo investigador, frente al amplio conjunto de datos, es poder integrar y sintetizar los resultados obtenidos por los diferentes estudios. Esta tarea será permanente a lo largo de los próximos años considerando el volumen, la riqueza y complejidad de la información disponible. Mientras se desarrollan estrategias y métodos más elaborados de integración y análisis de metadatos, se ha propuesto la elaboración de una matriz comparativa de los resultados de distintas variables para los 20 sistemas en estudio. Para cada grupo de variables se han definido tres niveles de referencia (valores óptimos, intermedios y críticos), según el conocimiento disponible de cada tema. El propósito es acercarse a la posibilidad de integrar y comunicar resultados globales para el conjunto de estudios realizados, sin pretender ser exhaustivo ni incluir un alto nivel de detalle. La matriz presentada (Figura 13) retoma algunos de los principales estudios y tiene carácter preliminar sobre los grandes hallazgos encontrados. Se espera seguir ampliando y mejorando la integración de la información de los resultados generados.

Se confirma que los sistemas de producción de café, con la variedad Caturra, a plena exposición solar en las condiciones de sitio del estudio, tanto con manejo AC como MC, presentan mayor cantidad de valores críticos negativos con relación a diferentes variables biofísicas y servicios ambientales, aunque con valores de productividad y rentabilidad óptimos. Por su parte el SAF con manejo BO establecido con la variedad Caturra, con sombra de maderables (*T. amazonia*), colapsó (tanto en vigor como en productividad) al séptimo año; mientras que las microparcels con Costa Rica 95 e híbridos F1 (L2A11), siguieron siendo sistemas productivos con el mismo manejo (BO).

Particularmente, para los sistemas a pleno sol y en alguna medida con árboles de servicio en manejos AC (poda drástica dos veces al año con alta entrada de luz), los resultados negativos se dieron con las variables de vida del suelo, acidez del suelo, agotamiento de café en los primeros años, temperaturas altas, ausencia de control natural de roya, bajo ciclaje de nutrientes (sólo pleno sol), muy baja captura de carbono (sólo pleno sol), altas emisiones de carbono (menos pleno sol MC) y ausencia de ingresos de diversificación (Cuadro 8, Figura 13).

Cuadro 8. Promedio anual de emisiones, captura de carbono y balance neto en los diferentes sistemas del ensayo de largo plazo en sistemas agroforestales con café, Turrialba, Costa Rica, período 2000-2009

Sistemas*	Manejo**	Captura de carbono en biomasa y hojarasca (Mg CO ₂ cha ⁻¹ yr ⁻¹)	Emisiones CF ² (Mg CO ₂ cha ⁻¹ yr ⁻¹) (Entre paréntesis orden de menor (1) a mayor (14) emisiones)	Balance anual neto CO ₂ (Mg CO ₂ cha ⁻¹ yr ⁻¹)
CE	MC	47,24 (±8,22)	2,95 (9)	44,29 (± 4,7)
CE	MO	47,23 (±7,84)	1,92 (4)	45,31 (±4,5)
TA	AC	45,24 (±5,20)	5,14 (13)	40,10 (±5,2)
TA	MC	25,43 (±6,01)	2,81 (7)	22,63 (±3,5)
EPTA	MC	25,12 (±1,23)	3,20 (10)	21,92 (±0,7)
TA	MO	22,74 (±9,51)	1,72 (3)	21,02 (±5,5)
TA	BO	19,24 (±9,94)	0,50 (1)	18,74 (± 5,7)
EPTA	MO	15,97 (±0,58)	2,29 (5)	13,68 (±0,3)
EP	MC	14,25 (±0,37)	3,77 (11)	10,48 (±0,2)
EP	MO	13,46 (±0,95)	2,92 (8)	10,54 (±0,5)
EP	BO	12,32 (±1,27)	1,50 (2)	10,82 (±0,7)
EP	AC	9,21 (±1,28)	6,13 (14)	3,08 (±0,7)
PSol	AC	4,43 (±0,45)	5,00 (12)	-0,57 (±0,5)
PSol	MC	3,03 (±0,35)	2,71 (6)	0,32 (±0,4)

Fuente: Elaborado con base en Noponen (2012) citado por Virginio Filho *et al.* 2015 (. *CE= Chloroleucon eurycyclum; EP= Erythrina poeppigiana; TA= Terminalia amazonia; PSol= pleno sol; **MO= manejo orgánico intensivo; AC= manejo alto convencional; MC= manejo moderado convencional



Figura 11. Torre de flujo y calicata para evaluación continua de interacciones atmosféricas en sistemas agroforestales y a pleno sol. Fotos: Proyecto MACACC, 2015

Desde el punto de vista del cambio climático y de sistemas mejor adaptados, los diferentes monitoreos y estudios confirman la relevancia de los SAF bien diseñados y manejados para lograr dicha adaptación. Un estudio realizado en el ensayo de SAF café del CATIE, en el marco del proyecto MACACC (Figura 11), confirmó el efecto amortiguador de los SAF para el microclima. Los sistemas con árboles redujeron en promedio la temperatura ambiente dentro del cafetal en 2°C, comparado con los sistemas de pleno sol y de *Erythrina poeppigiana* con poda drástica (Soma 2015).

Por otro lado, además de los efectos negativos de SAF con podas drásticas y el exceso de luz, los sistemas con alta densidad de sombra han afectado negativamente la producción de café y han propiciado condiciones favorables para algunas enfermedades, en especial para la roya. Las limitantes con sombras densas estuvieron vinculadas a la logística y recursos para garantizar el manejo oportuno de los árboles en libre crecimiento, en particular después de los ocho primeros años.

Durante los primeros cinco años se hicieron podas de formación en los árboles maderables, luego, en la fase de mayor desarrollo y crecimiento, se hicieron dos arreglos de copas. En los últimos años se buscó ajustar las entradas de luz en las parcelas con maderables a partir de raleos que redujeron la densidad de árboles por área. Los SAF café con todos los tipos y niveles de manejo (AC, MC, MO, BO) con la presencia de los árboles de servicio (*E. poeppigiana*), han presentado, en general, mejor productividad y servicios ambientales. En particular, durante el período 2010 a 2016, época de fuertes afectaciones de roya, de los cinco sistemas que se mantuvieron con niveles óptimos e intermedios de la enfermedad, tres están asociados con árboles de servicios (Figura 13).

Al comparar entre sí todos los sistemas AC y MC, es evidente que la presencia de árboles, tanto de servicio como maderables, cambian el valor de variables (vida en suelo, acidez del suelo, avifauna, agotamiento de plantas, microclima y captura de carbono), a niveles óptimos e intermedios en comparación con los sistemas de pleno sol (Figura 13).

Cuando se comparan los sistemas con manejo orgánico, los que presentan más valores óptimos e intermedios (macrofauna-catalasa del suelo, fertilidad y reducción de acidez de suelos, biodiversidad y cobertura del suelo, reducción de estrés de plantas, regulación de

microclima, captura de carbono y balance positivo en emisiones, así como productividad de café), son los que tienen árboles maderables (MO) y árboles de servicio (MO). Sin embargo, para el criterio comportamiento de productividad en el período 2010 a 2016 (afectación de roya), el sistema con árboles de servicio (*E. poeppigiana*) (MO), presentó el mejor resultado. El único manejo que colapsó durante las dos primeras décadas fue el sistema con árboles maderables (*T. amazonia*) variedad Caturra, con manejo bajo orgánico (BO); sin embargo, lo interesante es que dentro de los manejos orgánicos el que presentó mejor rentabilidad (relación entre productividad y costo) durante la segunda década de estudio, fue el sistema con árboles de servicio en manejo bajo orgánico (BO), aunque estuvo afectado por el impacto de roya en el período 2010-2016 (Figura 13).

El artículo de Isabella Soncim *et al.* (página 177, esta revista), muestra los resultados del segundo estudio de rentabilidad de los sistemas presentes en el ensayo, luego de transcurridos 16 años, y especifica el desempeño financiero de los diferentes enfoques de producción. Entre los hallazgos más importantes se indica que de 20 sistemas, 19 son rentables y que hay SAF tanto convencionales como orgánicos que se ubican entre los de más alta rentabilidad (*E. poeppigiana* AC, *C. eurycyclum* + *E. poeppigiana* AC, *E. poeppigiana* BO y *E. poeppigiana* + *T. amazonia* MC).

En el marco del ensayo entendemos el concepto de sostenibilidad como el mantenimiento e incremento de la producción, el de sinergismo ecológico como el que propicia resiliencia ante el clima e interacciones positivas entre árboles, niveles y tipos de insumo sobre la base de mejoras (establecimiento y/o regeneración) en la biología y fertilidad del suelo, ciclaje de nutrientes y mayor dinámica en la biodiversidad (Haggard *et al.* 2001). En los 20 años de estudios, los sistemas que más destacaron en sostenibilidad y sinergismo ecológico fueron: SAF con árbol de servicio (*E. poeppigiana*) y manejo intensivo orgánico (MO) y SAF con árbol de servicio (*E. poeppigiana*) y manejo moderado convencional (MC); estos sistemas mantuvieron el equilibrio entre la producción de café y los servicios ambientales. Luego, con muy buenos valores generales, pero con afectaciones productivas posteriores a la epidemia de roya (2012), en el período 2010-2016, están los sistemas maderables con manejo orgánico intensivo (MO) y manejo moderado convencional (MC), y el sistema combinado árboles de servicio más maderable en manejo orgánico intensivo

(MO) (Figura 13). Tanto los SAF maderables, como los SAF *E. poeppigiana* y SAF *E. poeppigiana* más maderables (*C. eurycyclum*) con manejo bajo orgánico (BO), deben seguir siendo valorados con atención a lo largo de los próximos años para poder concluir sobre su capacidad potencial de resiliencia ante los efectos de plagas, enfermedades, clima e interacciones entre componentes del sistema y manejos.

En la Figura 12 se observan las diferentes composiciones y arquitecturas de los sistemas agroforestales con café, que forman parte del ensayo de largo plazo, ubicado en el CATIE, Turrialba, Costa Rica.

Aunque destaca entre los mejores sistemas, el SAF *E. poeppigiana* con Caturrra con manejo orgánico intensivo, tiene altos costos de manejo, aspecto que constituye una limitante importante para productores de escasos recursos, y una limitante histórica para la implementación de sistemas agroforestales sostenibles (Fournier 1981). La buena noticia es que los sistemas *E. poeppigiana* con Caturrra en manejo bajo orgánico y *E. poeppigiana* más *C. eurycyclum* con manejo bajo orgánico, han tenido buena rentabilidad a un costo de manejo más bajo, así como valores de variables biofísicas buenos asociadas a mejores servicios ambientales (Figura 13).



Sistema de *Erythrina poeppigiana* en manejos AC (poda drástica de árboles dos veces al año)
(Foto: E. de M. Virginio Filho, 2005)



Sistemas de *Erythrina poeppigiana* en manejos MC, MO, BO (podas reguladas con altura intermedia de árboles dos veces al año)
(Foto: E. de M. Virginio Filho, 2004)



Sistemas de *Erythrina poeppigiana* (Ep) + *Chloroleucon eurycyclum* en manejos MC, MO, BO. En AC la diferencia es que Ep está con poda drástica
(Foto: E. de M. Virginio Filho, 2012)



Sistemas de sombra de *Erythrina poeppigiana* + *Terminalia amazonia* en manejos MC, MO
(Foto: E. de M. Virginio Filho, 2012)



Sistemas *Chloroleucon eurycyclum* + *Terminalia amazonia* en manejos MC y MO
(Foto: Gabriela. C. Malpeli, 2012)



Sistemas *Terminalia amazonia* en manejos AC, MC, MO y BO
(Foto: E. de M. Virginio Filho, 2015)



Sistemas *Chloroleucon eurycyclum* en manejos MC y MO
(Foto: E. de M. Virginio Filho, 2015)

Figura 12. Tratamientos agroforestales establecidos como parte del ensayo de largo plazo con café, Turrialba, Costa Rica. Cada una de las fotos detalla el manejo silvicultural aplicado a cada una de las especies arbóreas

Parámetros evaluados/Sistemas	AC				MC				MO			BO			
	SO	SE	MA	SE+ MA	SO	SE	MA	SE+ MA	SE	MA	SE + MA	SE	MA	SE+ MA	
VIDA EN SUELO – MACROFAUNA (2005-2017)	Red	Verde claro	Verde claro	ND	Red	Verde claro	Verde claro	ND	Verde oscuro	Verde oscuro	Verde oscuro	Verde oscuro	Verde claro	Verde claro	
VIDA EN SUELO- (2020) MICROFAUNA-CATALASA	Red	Red	Verde claro	ND	Red	Verde claro	Verde claro	ND	Verde oscuro	Verde oscuro	Verde oscuro	Verde oscuro	Verde claro	Verde claro	
FERTILIDAD EN SUELO (2010)	Verde claro	Verde claro	Verde claro	Verde claro	Verde claro	Verde claro	Verde claro	Verde claro	Verde oscuro	Verde oscuro	Verde oscuro	Verde oscuro	Verde claro	Verde claro	
CARBONO Y ESTRUCTURA DO SOLO (2010)	Verde claro	Verde claro	Verde claro	Verde claro	Verde claro	Verde claro	Verde claro	Verde claro	Verde oscuro	Verde oscuro	Verde oscuro	Verde oscuro	ND	ND	
ACIDEZ DO SOLO (2010)	Red	Red	Verde claro	Red	Verde claro	Verde claro	Verde claro	Verde claro	Verde oscuro	Verde oscuro	Verde oscuro	Verde oscuro	Verde claro	Verde claro	
DIVERSIDAD DE HIERBAS EN SUELO (2011)	Verde claro	Verde claro	Red	Red	Verde claro	Verde claro	Verde claro	Verde claro	Verde oscuro	Verde oscuro	Verde oscuro	Verde oscuro	Verde claro	Verde claro	
DIVERSIDAD AVES (2008)	Verde claro	Verde claro	Verde claro	Verde claro	Red	Verde claro	Verde claro	Verde claro	Verde oscuro	Verde oscuro	Verde oscuro	Verde oscuro	Verde claro	Verde claro	
AGOTAMIENTO CAFÉ (2004)*	Red	Verde claro	Verde claro	Verde claro	Red	Verde claro	Verde claro	Verde claro	Verde oscuro	Verde oscuro	Verde oscuro	Verde oscuro	Verde claro	Verde claro	
SOMBRA (ENE-JUN 2017)	Red	Red	Verde claro	Red	Red	Verde claro	Verde claro	Verde claro	Red	Red	Verde claro	Verde claro	Red	Verde claro	
MICROCLIMA (DoseL, Temp)	Red	Red	Verde claro	Verde claro	Red	Verde claro	Verde claro	Verde claro	Verde oscuro	Verde oscuro	Verde oscuro	Verde oscuro	Verde claro	Verde claro	
INCIDENCE DE ROYA (2017)	Verde claro	Verde claro	Verde claro	Verde claro	Verde claro	Verde claro	Verde claro	Verde claro	Verde oscuro	Verde oscuro	Verde oscuro	Verde oscuro	ND	Verde claro	
CONTROL NATURAL ROYA <i>Lecanicidium l.</i> (2017)	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Verde claro	Verde claro	Red	Verde claro	Verde claro	Verde claro	Red	ND	
CICLAJE DE NUTRIENTES (BIOMASA AEREA) (2011)	Red	Verde claro	Verde claro	Verde claro	Red	ND	ND	ND	Verde oscuro	Verde oscuro	Verde oscuro	Verde oscuro	ND	ND	
CAPTURA DE CARBONO (T CO2 e /ha/año) (2000-2009)	Red	Verde claro	Verde claro	ND	Red	Verde claro	Verde claro	Verde claro	Verde oscuro	Verde oscuro	Verde oscuro	Verde oscuro	Verde claro	Verde claro	
EMISIONES DE CARBONO (T CO2 e /ha/año) (2000-2009)	Red	Red	Red	ND	Verde claro	Verde claro	Verde claro	Verde claro	Verde oscuro	Verde oscuro	Verde oscuro	Verde oscuro	Verde claro	Verde claro	
PRODUCTIVIDAD MADERA (VT m3 ha) (2007)	Red	Red	Verde claro	Verde claro	Red	Red	Verde claro	Verde claro	Red	Verde claro	Verde claro	Verde claro	Red	Verde claro	
PRODUCTIVIDAD DE CAFÉ (PRIMERA DÉCADA)	Verde claro	Verde claro	Verde claro	Verde claro	Verde claro	Verde claro	Verde claro	Verde claro	Verde oscuro	Verde oscuro	Verde oscuro	Verde oscuro	Verde claro	Verde claro	
PRODUCTIVIDAD CAFÉ (2010 – 2016)	Verde claro	Verde claro	Red	Red	Verde claro	Verde claro	Red	Red	Verde claro	Red	Red	Red	Red	Red	
RENTABILIDAD 2001-2010 (ORGANICOS SIN PREMIO)	Verde claro	Verde claro	Verde claro	Verde claro	Verde claro	Verde claro	Verde claro	Verde claro	Verde oscuro	Verde oscuro	Verde oscuro	Verde oscuro	Verde claro	Verde claro	
RENTABILIDAD 2000-2016 (ORGANICOS SIN PREMIO)	Verde claro	Verde claro	Verde claro	Verde claro	Verde claro	Verde claro	Verde claro	Verde claro	Verde oscuro	Verde oscuro	Verde oscuro	Verde oscuro	Red	Verde claro	

Con variedad Caturra:

-Los AC-sol y MC-sol han tenido más valores críticos en servicios ambientales y variables biofísicas aunque no así en productividad

-El BO con maderables (*Terminalia a.*) colapsó

-Los árboles de servicio han sido clave para productividad y servicios ambientales (AC, MC, MO y BO)

-LOS SAF *Erythrina p.* en manejos mo y mc son los que lograron mejores equilibrios hasta la fecha, entre productividad y sinergias agroecológicas

Figura 13. Resultados comparativos (verde oscuro, valores óptimos; verde claro, valores positivos intermedios; rojo, valores críticos negativos) de variables agroecológicas en sistemas agroforestales de café a pleno sol del ensayo de largo plazo, Turrialba, Costa Rica

Fuente: modificado de Virgínio Filho *et al.* 2018.

Notas: 1) Sistemas: AC: Alto Convencional; MC: Moderado Convencional; MO: Orgánico Intensivo; BO: Bajo Orgánico; SO: Pleno Sol; SE:Árbol de servicio- *E. poepiggiana*.;MA: Árbol maderable, *T. amazonia*, *C. eurycyclum*.; ND: No se evaluó.

2) Fuentes: Vida en suelo – Macrofauna (2005 y 2012-Aquino; Vela; Sauvadet *et al.* 2017); Vida en suelo-Microfauna-Catalasa (Bueno *et al.* 2020); Fertilidad del suelo (2006, Soto *et al.*; 2010-Soto); Carbono y estructura do solo (2010- Soto); Acidez do solo (2010 - Soto); Diversidad de hierbas en suelo (2011 – Roci); Diversidad de avifauna (2008-Perdomo); Agotamiento café (2004), Datos campo; sombra (exceso o falta) (ene-jun 2017 – Soncin, Dolenc); Microclima (doseL, amortiguamiento temperatura) M. soma proyecto MACACC, 2015-2016; Incidencia de roya (ene-jun 2017 – Soncin, Dolenc); Control natural roya *Lecanicidium lecani.* (ene-jun 2017 – Soncin, Dolenc); Ciclaje de nutrientes (biomasa de poda y caída natural) (2011 – Haggat *et al.*); Captura emisiones de carbono (T CO₂ E /ha/año) (Noponen-2000 a 2009; productividad madera (vt m³ ha) (2007 – Merlo) nula, media, alta; Productividad de café (primera década) (Salgado 2010) <25qq; 25 a 33 qq; >33qq.; Productividad de café (primera década) Salgado, 2010); Productividad café (2010 – 2016) datos de campo; Rentabilidad 2001-2010 sin premio en orgánicos) (Salgado 2010); Rentabilidad 2000-2016 (Soncim *et al.* 2019).

En el ámbito del rendimiento en la producción de café comercial (sin incluir la primera cosecha), para el período de mayor productividad (los primeros 10 años), 14 sistemas mantuvieron promedios superiores a 22 fanegas por hectárea (5500 kg/ha). Para este período los dos sistemas de más alta productividad fueron el del pleno sol-AC (11 027,5 kg/ha), seguido por el SAF Ep-AC (10 130 kg/ha). Luego, en un segundo grupo están los sistemas pleno sol-MC (8937,5 kg/ha) y los SAF CeEp-AC (8817,5 kg/ha), Ta-AC (7775 kg/ha), Ta-MO (6972,5 kg/ha), Ep-MO (6920 kg/ha). El tercer grupo de sistemas presentaron buenos promedios de rendimiento destacándose el EpTa-MC (6540

kg/ha), Ep-BO (6382,5 kg/ha) y Ep-MC (6140 kg/ha). En un cuarto grupo se ubicaron los sistemas de productividad moderada, siendo los SAF Ce-MC (5985 kg/ha), Ce-MO (5760 kg/ha), CeEp-MO (5685 kg/ha) y el Ta-MC (5640 kg/ha). El siguiente grupo estuvo conformado por los dos sistemas de productividad regular, el CeTa-MC (5402,5 kg/ha) y el CeEp-BO (5202,5 kg/ha). Con bajas productividades están el CeEp-MC (4870 kg/ha), EpTa-MO (4865 kg/ha) y el CeTa-MO (4610 kg/ha). En los primeros 10 años un único sistema (Ta-BO) presentó muy baja productividad (2395 kg/ha), incluso colapsando en cuanto a su vigor productivo (Cuadro 9).

Cuadro 9. Productividad (fan/ha, kg/ha) promedio histórico de cosechas comerciales de Caturra en los primeros 10 años (período de mayor rendimiento) y promedio acumulado para los 17 años del ensayo de largo plazo en sistemas agroforestales con café, Turrialba, Costa Rica

Sistemas	Productividad promedio de café fruta acumulada a los 10 años			Productividad promedio de café fruta acumulada a los 17 años		
	Fan/ha	Kg/ha	Orden*	Fan/ha	Kg/ha	Orden (*) y diferencia con los primeros 10 años
Ep-AC	40,52	10 130	(2)	36,96	9240	(2) - 3,56
Ep-MC	24,56	6140	(10)	24,10	6025	(7) - 0,46
Ep-MO	27,68	6920	(7)	26,47	6617,5	(5) - 1,21
Ep-BO	25,53	6382,5	(9)	19,48	4870	(9) - 6,05
Ta-AC	31,10	7775	(5)	25,41	6352,5	(6) - 5,69
Ta-MC	22,56	5640	(14)	16,84	4210	(14) - 5,72
Ta-MO	27,89	6972,5	(6)	18,48	4620	(10) - 9,41
Ta-BO	9,58	2395	(20)	5,21	1302,5	(20) - 4,37
Ce-MC	23,94	5985	(11)	17,93	4482,5	(11) - 6,01
Ce-MO	23,04	5760	(12)	16,49	4122,5	(15) - 6,55
CeTa-MC	21,61	5402,5	(15)	17,54	4385	(13) - 4,07
CeTa-MO	18,44	4610	(19)	14,16	3540	(19) - 4,28
EpTa-MC	26,16	6540	(8)	22,15	5537,5	(8) - 4,01
EpTa-MO	19,46	4865	(18)	16,18	4045	(16) - 3,28
CeEp-AC	35,27	8817,5	(4)	27,28	6820	(4) - 7,99
CeEp-MC	19,48	4870	(17)	15,42	3855	(17) - 4,06
CeEp-MO	22,74	5685	(13)	17,76	4440	(12) - 4,98
CeEp-BO	20,81	5202,5	(16)	14,35	3587,5	(18) - 6,46
Pleno Sol-AC	44,11	11 027,5	(1)	42,49	10 622,5	(1) - 1,62
Pleno Sol-MC	35,75	8937,5	(3)	36,10	9025	(3) + 0,35

Notas: Ep (*Erythrina poeppigiana*), Ta (*Terminalia amazonia*), Ce (*Chloroleucon eurycyclum*); AC= manejo alto convencional, MC= manejo moderado convencional, MO= manejo orgánico intensivo, BO= manejo bajo orgánico; *orden de mayor (1) a menor productividad (20)

Como era esperado, la productividad de los sistemas después de los primeros 10 años en general disminuyó, a excepción del sistema pleno sol-MC que se mantuvo prácticamente igual. Sin embargo, ocho sistemas mantuvieron los rendimientos superiores a 5500 kg/ha (22

fan/ha). El sistema pleno sol-AC (10 622,5 kg/ha) se mantuvo en la categoría de muy alta productividad. El segundo grupo de alta productividad lo conformó en primer lugar el SAF Ep-AC (9240 kg/ha), seguido por el pleno sol-MC (9025 kg/ha), el SAF CeEp-AC

(6820 kg/ha) y por el SAF orgánico Ep-MO (6617,5 kg/ha). En el grupo tres, con buena productividad, estuvieron los SAF Ta-AC y Ep-MC con 6352,5 kg/ha y 6025 kg/ha, respectivamente. Un solo sistema se ubicó en la categoría de productividad moderada, el EpTa-MC (5537,5 kg/ha). El grupo de baja productividad, pasó a tener un mayor número de sistemas (11), en relación a los primeros 10 años, siendo los Ep-BO (4870 kg/ha), Ta-MO (4620 kg/ha), Ce-MC (4482,5 kg/ha), CeEp-MO (4440 kg/ha), CeTa-MC (4385 kg/ha), Ta-MC (4210 kg/ha), Ce-MO (4122,5 kg/ha), EpTa-MO (4045 kg/ha), CeEp-MC (3855 kg/ha), CeEp-BO (3587,5 kg/ha) y el CeTa-MO (3540 kg/ha). En la categoría de muy baja productividad se mantuvo el Ta-BO (1302,5 kg/ha) (Cuadro 9).

Un elemento determinante para la reducción general de productividad en los diferentes sistemas con Caturra, fue el incremento importante del ataque de roya a partir del 2012, con incidencias anuales promedios que variaron entre 10 y 50%. Lo anterior explica el contraste entre las altas productividades logradas en microparcels con variedades mejoradas y con tolerancia/resistencia a la roya (Milenio, Centroamericano y Costa Rica 95) (Cuadro 10), con manejos moderados convencionales y bajo orgánico. Sin embargo, es notable que aun con las fuertes incidencias de roya, los SAF estuvieron representados en el grupo de alta productividad con los sistemas Ep-AC, CeEp-AC y Ep-MO, y en el grupo de buena productividad con el Ta-AC y el Ep-MC.

Como se había propuesto hacia el inicio del ensayo a largo plazo (Soto *et al.* 2006), durante las primeras dos décadas las investigaciones aportaron información relevante y positiva para desarrollar estrategias y diseños tanto de SAF convencionales, con reducción de uso de insumos sintéticos, como de SAF orgánicos de buena productividad y sinergias agroecológicas.

La combinación de variedades mejoradas resistentes y rústicas con árboles de servicio (*E. poeppigiana*), resultó en una muy buena estrategia para integrar el manejo bajo orgánico (Cuadro 10). En este sentido, este es otro resultado relevante que está asociado a la evaluación comparativa del potencial productivo de diferentes variedades de café. Luego de la evaluación de los 17 años se confirmó que, bajo los manejos indicados (MC, BO), tanto los híbridos F1 Centroamericano y Milenio como el Costa Rica 95, superan la variedad Caturra en productividad y rusticidad (Cuadro 10). El híbrido Milenio, con manejo bajo orgánico tuvo la productividad

promedio más alta (17 867,5 kg/ha), seguido por el híbrido Centroamericano en manejo moderado convencional (15 310 kg/ha); ambos resultados son excelentes para los niveles de manejo considerados.

En un segundo grupo con valores muy buenos, se destacaron el Centroamericano en manejo bajo orgánico (11 427,5 kg/ha), el Costa Rica 95 en manejo bajo orgánico en el sitio 3 (11 265 kg/ha) y el Milenio en manejo moderado convencional (10 557,5 kg/ha). El tercer grupo con valores buenos lo integran los sistemas con Costa Rica 95 en manejo moderado convencional sitio 2 (8562,5 kg/ha) y Costa Rica 95 en manejo bajo orgánico sitio 2 (7747,5 kg/ha).

El cuarto grupo con valores regulares (considerando la productividad nacional en Costa Rica), lo conformó el sistema Caturra en manejo moderado convencional sitio 2 (5930 kg/ha); el sistema Caturra en manejo moderado convencional sitio 3 (5770 kg/ha) y el sistema Caturra en manejo bajo orgánico sitio 2 (5435 kg/ha). El sistema con el peor resultado fue el Caturra en manejo bajo orgánico en el sitio 3 (3787,5 kg/ha). Además, la variedad Costa Rica 95 y los híbridos Centroamericano y Milenio, tuvieron mejor adaptabilidad a las condiciones limitantes de sitio y mejor comportamiento frente a enfermedades como la roya (Virginio Filho y Astorga 2015).

En las áreas de bordes de las parcelas experimentales se establecieron parcelas de CR 95 injertado en Nemaya (resistente a nemátodos). Los resultados han sido satisfactorios en términos de producción y adaptabilidad. Esto abre una nueva perspectiva pues se cuenta con información robusta sobre los diseños y manejos de SAF, así como las variedades promisoras que pueden combinarse para garantizar sostenibilidad y sinergias agroecológicas de mayor potencial en la zona.



Parcelas en bordes (primero plano) de la variedad Costa Rica 95 injertado en Nemaya con asocio con poró, 2013. Foto: E. de M. Virginio Filho

Cuadro 10. Productividad promedio en café fruta (fan/ha y kg/ha) en parcelas de variedades mejoradas (híbridos Centroamericano y Milenio, Costa Rica 95) vs Caturra bajo dos sistemas agroforestales establecido en Turrialba, Costa Rica

Sombra regulada de poró y manejo moderado convencional Sitio 2																Promedio por variedad *para los dos sitios indistintamente del manejo-fan/ha (kg /ha)		
Años Variedades	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	Promedio (**Fan/ha)	Promedio (Kg/ha)	Milenio	
Caturra	19,61	30,97	3,46	25,67	9,08	33,74	27,43	19,93	37,64	5,69	56,69	3,17	35,04	24,01	23,72	5930	Centroamericano	53,475 (13368,75)
CR95	54,07	48,31	18,68	15,29	9,75	8,55	21,52	11,35	35,39	69,98	67,13	24,73	48,85	45,86	34,25	8562,5	Costa Rica 95	39,295 (9823,75)
Centroamericano	101,16	83,52	39,54	30,6	51,16	26,16	53,19	46,39	57,41	82,55	92,82	41,67	60,69	90,51	61,24	15310	Caturra	20,9225 (5230,625)
Sombra regulada de poró y manejo bajo orgánico Sitio 2																Notas: *Densidad de siembra 5000 cafetos/ha. **1 fanega = 250 kg de café fruta.		
Caturra	33,63	19,15	37,51	42,75	10,06	29,82	38,36	20,29	25,82	2,99	23,14	1,14	6,88	12,82	21,74	5435		
CR95	77,82	51,57	36,23	33,95	16,84	16,03	22,65	12,48	18,41	31,34	44,66	12,18	22,23	37,47	30,99	7747,5		
Centroamericano	84,68	87,36	48,47	45,11	47,17	23,5	56,11	14,17	20,59	66,07	79,09	11,28	17,11	39,27	45,71	11427,5		
Sombra regulada de poró y manejo moderado convencional Sitio 3																		
Caturra	16,79	31,75	2,75	34,86	22,76	30,54	31,22	30,35	35,44	10,79	38,35	2,03	30,38	5,07	23,08	5770		
CR95	65,87	75,05	16,68	54,75	49,18	30,3	44,5	36,09	54,55	51,61	67,83	17,75	60,54	31,63	46,88	11720		
Milenio	67,78	83,26	4,65	28,67	65,39	47,19	36,02	25,63	32,34	74,27	52,02	15,58	45,42	13,04	42,23	10557,5		
Sombra regulada de poró y manejo bajo orgánico Sitio 3																		
Caturra	17,89	33,14	13,18	42,00	11,82	22,68	21,56	21,47	19,71	2,61	4,38	0,0	0,7	0,93	15,15	3787,5		
CR95	42,38	92,27	21,57	86,25	41,77	34,13	52,06	29,04	43,49	53,81	42,78	14,29	46,81	30,23	45,06	11265		
Milenio	118,6	121,32	38,55	66,68	87,07	52,79	78,08	56,3	78,99	108,63	78,43	29,15	52,25	33,7	71,47	17867,5		

Fuente: Elaborado con base en la revisión y ajustes de datos del 2004 a 2017

e) Sinergias con procesos de fortalecimiento de capacidades y socialización de resultados

- Apoyo a la formación académica a nivel superior

El ensayo de largo plazo en sistemas agroforestales con café en el CATIE, Costa Rica, ha sido un espacio permanente para apoyar y fortalecer los conocimientos y habilidades metodológicas de docentes y estudiantes. Un total de 35 universidades de varios países han participado con pasantías (Cuadro 3) y diferentes estudios de tesis (Cuadro 6). El ensayo ha sido utilizado de manera continua para apoyar el desarrollo de diferentes cursos de varias carreras universitarias entre los cuales se destacan, en Costa Rica, la carrera de salud ambiental y de agronomía, con los cursos de agroecología y ecofisiología de la UCR; la carrera de ingeniería forestal con el curso de agroforestería del Instituto Tecnológico de Costa Rica; la carrera de agronomía con el curso de silvicultura y café de

la Universidad EARTH y la carrera de ingeniería forestal de la Universidad Nacional de Costa Rica. A nivel internacional se han realizado intercambios de estudiantes y profesores de la Universidad de Panamá y de la carrera de agronomía de la Universidad de El Salvador, entre otros.

Igualmente, los estudiantes de diferentes cursos internacionales de corta duración de la escuela de posgrado de CATIE, vinculados a los diferentes programas de maestría y doctorado, se han beneficiado de la realización de sesiones teóricas y prácticas desarrolladas en el ensayo durante los últimos 20 años. Más recientemente el CATIE, y en particular científicos vinculados al ensayo de largo plazo, se han incorporado al programa de la maestría de Ciencia y Tecnología del Café de la Universidad Surcolombiana (USCO), por medio de un convenio que permite el intercambio de experiencias, la enseñanza de posgrado y la investigación.

- Intercambios y capacitación con personal técnico y productores de café

Desde su concepción y establecimiento, el ensayo de largo plazo en SAF café de CATIE mantuvo un intercambio constante con personal técnico y productores de los países cafetaleros de América Latina a través de visitas, demostraciones, días de campo y cursos aplicados. Se ha coordinado con PROMECAFE y los institutos de café de los países que participan en el Programa, diferentes intercambios que han fortalecido la promoción de los aprendizajes generados. En varios momentos se ha coordinado con el Instituto de Café de Costa Rica para apoyar intercambios nacionales e internacionales. En los últimos tres años el Proyecto IICA-PROCAGICA-CATIE-UE, ha realizado diferentes intercambios con personal técnico y productores.

Se han realizado una serie de intercambios y eventos de capacitación dirigidos a personal técnico y productores vinculados a cooperativas, asociaciones y empresas de los países productores de café. En promedio se estima que anualmente el ensayo ha sido visitado por unas 250 personas.

El ensayo también ha brindado elementos de apoyo a aprendizajes generados en la red de parcelas con fincas escuelas/demostrativas en el marco de diferentes proyectos. Las fincas de aprendizaje son escenarios de validación de metodologías, de diagnósticos integrales, de innovaciones y prácticas sostenibles y de consolidación de conocimientos sobre interacciones agroecológicas en sistemas agroforestales. Además,

han sido clave en procesos de masificación de prácticas y conocimientos agroecológicos desde diferentes contextos. En general, a partir de la colaboración del ensayo SAF café con diferentes proyectos, institutos de café, instituciones de investigación y asistencia técnica, cooperativas y asociaciones de productores, se estima que los aprendizajes generados han llegado a 42 041 productores (Cuadro 11).

Con el pasar del tiempo y los aportes dinámicos de las diferentes investigaciones, el ensayo posibilitó la indicación de varias prácticas e innovaciones vinculadas con la sostenibilidad y el sinergismo agroecológico. Estas prácticas fueron validadas luego en varias fincas de aprendizaje, con resultados muy satisfactorios. El aprendizaje aplicado, promovido en colaboración con los diferentes proyectos, ha permitido el diseño y desarrollo de programas robustos de implementación interinstitucional para el fortalecimiento de capacidades de decisores, técnicos, familias productoras y empresas (Cuadro 11). Las principales prácticas e innovaciones promovidas están descritas en la Cuadro 12.

Entre 2017 y 2021 el proyecto CATIE-PROCAGICA-IICA-UE, en colaboración con ANACAFE, IHCAFE, INTA, CENTA Café/Consejo Salvadoreño del Café e ICAFE/MAG/Fundacion Café Forestal, ha permitido el desarrollo de estudios aplicados en el ensayo SAF café, y en vínculo directo con una red de fincas de validación en Guatemala, Honduras, El Salvador, Nicaragua y Costa Rica. Lo anterior, ha contribuido a afinar la validación de prácticas en diferentes condiciones agroecológicas.



Viveros para resiembras frecuentes a partir de semillas y plántulas de calidad.



Manejo selectivo de hierbas, uso de guadaña para presionar hierbas competidoras, dejando buenas coberturas naturales.



Manejo integral de la broca del café combinando trampeo y aplicaciones de hongo *Beauveria bassiana*.

Algunas buenas prácticas validadas en ensayo de largo plazo de SAF café, Turrialba, CATIE. Fotos: E. de M. Virginio Filho, E.F. Frade.

Cuadro 11. Proyectos con los que el ensayo de largo plazo en sistemas agroforestales con café del CATIE, Costa Rica, ha compartido aprendizajes sobre metodologías aplicadas de evaluación agroforestal, interacciones agroecológicas e innovaciones en diseño y manejo de cafetales mediante redes de escuela de campo y procesos de fortalecimiento de capacidades a técnicos y familias productoras

Período	Proyecto/países	N° fincas escuelas/ demostrativas	N° familias capacitadas
2016-2021	Programa Centroamericano de Gestión Integral de la Roca del Café. CATIE-PROCAGICA-IICA-UE Componente de Investigación y Fortalecimiento de Capacidades. Guatemala, Honduras, El Salvador, Nicaragua, Costa Rica	200	6000
2016-2019	“Impulsando la Adaptación en Fincas Cafetaleras de Cooperativas del Café”. Costa Rica. FUNCAFOR-COOCAFE-FUNDECOOPERACIÓN/FONDO DE ADAPTACIÓN. Informe final Validación de prácticas e intercambios. E. de M. Virginio Filho (2019)	24	126
2018-2019	“Programa Nacional de Café”, Bolivia MDRT-INIAF-SENASAG-SEGURIDAD ALIMENTARIA Asesoría para fortalecimiento de capacidades en la cadena del café a entidades nacionales y sub-nacionales-AGRER-AECOM-TRANSTEC	ND€	4956
2014-2016	“Agroforestería sostenible en la Amazonia Ecuatoriana”, Proyecto AFAM-CATIE-INIAP, Ecuador (Virginio Filho y Caicedo 2018)	191	894
2007-2010	“Servicios ambientales y los mercados de café agroforestal en Centroamérica, África del Este y la India”, CAFNET-CIRAD-CATIE-ICRAF-UE. Una de las acciones claves fue compartir con la red de certificadoras internacionales los aprendizajes sobre las interacciones agroecológicas en los primeros 10 años de investigación	74	21 500€
2006-2007	“Plan piloto para la implementación interinstitucional de capacitación aplicada participativa para el mejoramiento de la producción sostenible de café de Bolivia”. CATIE-COOPERACIÓN TÉCNICA BELGA-DED-FECAFE (Virginio, E. de M; Petermann, E. 2007)	68	1558
2005-2007	Implementación participativa para el fortalecimiento de la caficultura en el ámbito del manejo integral de la sub-cuenca del río Jucuapa. (Resultados 2005-2007 GT Café-CATIE-Proyecto CATIE-FOCUENCAS II-ASDI-PCac-UNAG, INTA, UNICAFE, UNAN)	16	216
2003-2005	“Promoción y consolidación de procesos locales participativos y equitativos de transformación de los sistemas de producción cafetaleros hacia la diversificación agroforestal, manejo ambiental limpio y mercados de cafés especiales”. Costa Rica, CATIE-ICAFE-MAG-FUNDECOOPERACIÓN	271	665
2002-2003	“Investigación aplicada y participativa en el manejo integrado de la caficultura bajo énfasis de diversificación y producción de cafés especiales: experiencia piloto de colaboración horizontal. Turrialba, Costa Rica y Tuma, La Dalia, Nicaragua”. Informe técnico final E. de M. Virginio. CATIE-DAAF-ICAFE-APOT-ADDAC-FINNIDA. (2004)	112	14 710
2000-2004	“Manejo integrado de plagas y sistemas agroforestales.” Guatemala, El Salvador, Honduras, Nicaragua, Costa Rica, CATIE-MIP-AF/NORAD	721€	10778 ^a
	Totales	1254	42 041

Notas: ^aNúmero aproximado considerando un total de 8000 familias en Nicaragua, 1881 familias de la zona fronteriza en tres países (Trifinio), 590 en el sur de Honduras y 307 familias en Costa Rica. ^bNo incluye Nicaragua que contaba con 500 grupos que conformaban las escuelas de campo. ^c En Nicaragua 10 000 productores atendidos por CAFENICA, COOMPROCOM, CECOCAFEN y la Empresa Atlantic-ECOM; en Costa Rica 8500 productores atendidos por cooperativas afiliadas a COOCAFE, APOT y la empresa FJ Orlich-ECOM; en Guatemala 3000 productores de café atendidos por ANACAFE, ADIPSA, Asociación Albores y Defensores de la Naturaleza. ^e Para la asesoría realizada se trabajó con grupos de técnicos que daban seguimiento a grupos de productores. Fuente: (^a, ^b) CATIE (2005). (^c) CATIE-CIRAD-UE (2011)

Cuadro 12. Prácticas e innovaciones promotoras de sostenibilidad y sinergismo agroecológico en sistemas de producción de café. Ensayo de largo plazo en sistemas agroforestales con café, Turrialba, Costa Rica

Prácticas e innovaciones	Descripción
- Diagnósticos prácticos integrales del agroecosistema	- Formatos sencillos para evaluar de manera integrada la relación de diseño y manejo de sombra, plagas/enfermedades, cobertura y vida del suelo, vigor y estado productivo de cafetos. - Método aplicado para evaluación de vulnerabilidad y capacidad adaptativa de cafetales ante el cambio climático integrando el conjunto de variables biofísicas claves.
- Variedades mejoradas de café	- Variedades mejoradas de café con tolerancia/resistencia a la roya, alta productividad y rusticidad en al menos el 50% del área productiva. En las condiciones del ensayo de largo plazo los híbridos Centroamericano, Milenio y Costa Rica 95 (sin y con injerto), tuvieron mejores resultados que la variedad Caturra. En cada país o región hay que valorar la lista de variedades de mayor potencial.
- Manejo integrado básico de cafetales	- Diseño y manejo de cafetales de bajo y moderado costo que integra criterios idóneos de diseño manejo de sombra, manejo de tejido de café, resiembras mínimas, manejo de cobertura del suelo, fertilización y control de plagas y enfermedades.
- Manejo selectivo de buenas hierbas y cobertura del suelo	- Favorecer la presencia de hierbas con buena cobertura (raíces finas, no compite con café, cubre suelo y evita salida de hierbas agresivas, protege suelo) y cobertura de hojarasca en las calles de la plantación (entre filas). Ya sea bajo manejo orgánico o convencional, la estrategia es eliminar las hierbas competidoras y propiciar las hierbas de buena cobertura presentes naturalmente en las calles. En el caso de manejo orgánico, aunque no exclusivamente, el uso de motoguadañas facilita el manejo de las hierbas.
- Aplicación de abonos orgánicos	- La aplicación de abonos orgánicos (en cantidades superiores a 1 kg por planta por año), en especial con aportes complementarios de biomasa de poda de los árboles de servicio. Para resultados con mejores producciones, aunque con mayor costo, se recomiendan cantidades superiores a 2 kg de abono por planta por año, divididas en dos aplicaciones.
- Programas de fertilización convencional de transición	- Balancear aplicaciones de fertilizantes químicos de manera moderada (sin pasar de 200 kg de N/ha/año) con aplicaciones de biomasa de podas anuales de árboles leguminosos. Muy importante incorporar abonos orgánicos.
- Manejo de tejido de cafetos	- Poda selectiva por planta y resiembras anuales de cafetos muertos.
- Diseño de la sombra/ asocio de con los árboles en cafetales	- Sombra temporal para cafetales nuevos en áreas abiertas. - El diseño del asocio de árboles en los cafetales combinando árboles de servicio en mayor cantidad (100 a 200 árboles/ha con manejos anuales de copa), con maderables en cantidades moderadas (60 a 100 árboles/ha cuando los árboles tienen más de 10 años) y frutales leñosos en bajas cantidades (40 a 55 árboles/ha). - Nota: para cafetales sostenibles es fundamental la presencia y manejo de los árboles leguminosos en adecuada densidad y sistema de podas.
- Manejo dinámico de la sombra en asocio con el café	- Arreglos de copa de los árboles de sombra entre 2 y 3 veces al año para incorporar altos volúmenes de biomasa y regular la entra de luz. Los árboles de servicio (<i>Erythrina</i> sp., <i>Ingas</i> sp., <i>Gliricidia</i> sp., etc.), deben estar a una altura intermedia de 4 a 5 m para facilitar el manejo anual. - El uso de podadoras telescópicas (con y sin motor) son herramientas necesarias para garantizar manejos seguros y oportunos de la sombra.
- Manejo integral/holístico de la broca del café	- Combinación de las siguientes estrategias: cosecha total de frutos, trampas (>20/ha) atrayentes poscosecha y aplicaciones de <i>Beauveria bassiana</i> . entre 80 y 90 días después de cada una de las grandes floraciones.
- Manejo integral/holístico de la roya del café	- Integración de las siguientes estrategias: a) Diagnóstico oportuno en diferentes épocas (vigilar que no pase del 10% de incidencia). b) Sombra con presencia de árboles leguminosos con podas frecuentes (mínimo dos al año) para regulación de entrada de luz y aporte de biomasa verde. Evitar cafetales con sombra superior al 55% y a plena exposición solar. c) Programas de fertilización equilibrados tanto en manejos convencionales como orgánico. d) Controles químicos oportunos (tanto en manejo orgánico como convencional), combinando diferentes productos y cuidados para evitar la contaminación de trabajadores y el ambiente. e) Fincas que no dependan solo de variedades susceptibles y combinen en diferentes lotes variedades resistentes/tolerantes.

- *Comunicación intercambio de información técnico-científica*

Desde el inicio de los estudios, se establecieron diferentes estrategias de divulgación e intercambio de información generada por el equipo de investigación vinculado al ensayo. La participación en diferentes eventos, nacionales e internacionales, ha sido una constante desde el año 2002. Cada evento representó un espacio importante para compartir los aprendizajes generados; sin embargo, en función de los grandes desafíos experimentados durante los años, dos eventos marcaron momentos importantes. El primero fue el II Encuentro de investigadores en producción orgánica, realizado en Turrialba en el año 2002, donde se presentó por primera vez el ensayo y los grandes retos experimentados en la fase de establecimiento. El segundo evento fue 24ª Conferencia internacional de la ciencia del café (ASIC), realizada en Costa Rica en 2012. En esta conferencia el ensayo tuvo un rol activo tanto en ponencias como en la visita de campo, ocasión donde se hizo una síntesis completa sobre los resultados de los primeros 12 años de estudio. La participación de CATIE y del personal investigador vinculado al ensayo, en colaboración con el ICAFE, posibilitó un importante aporte al comité técnico-científico de la conferencia; al mismo tiempo, amplió la divulgación de los resultados de la primera década de estudios del ensayo.

Toda la información generada en el ensayo es de dominio público y de forma gratuita. La información puede ser obtenida por diferentes vías: a) comunicación directa con el equipo de investigación participante de la plataforma del ensayo; b) página web específica (<https://www.catie.ac.cr/en-que-trabajamos/agroforesteria/agrocafe/proyectos-agroforesteria/ensayos-saf-con-cafe.html>); c) Vía la biblioteca Orton (CATIE-IICA).

f) Vínculos con la formulación de políticas cafetaleras para el desarrollo sostenible

Uno de los propósitos de la plataforma de investigación vinculada al ensayo de largo plazo, ha sido aportar a los procesos de promoción de la sostenibilidad y sinergismos agroecológicos en el marco del diseño e implementación de políticas públicas y sectoriales vinculadas a la caficultura. En diferentes países y momentos, el ensayo ha aportado información, estrategias de investigación multidisciplinarias e innovaciones de referencia. En diferentes espacios y en colaboración con PROMECAFE, IICA y CAC, se ha brindado insumos sobre factores ambientales, biofísicos y de manejo vinculados a los diferentes enfoques de producción de café.

Con el ICAFE y los ministerios de agricultura y ambiente de Costa Rica, se ha compartido información para el diseño de los programas piloto de pago por servicios ambientales (PSA) para fincas cafetaleras, así como para el desarrollo de la primera NAMA agrícola del mundo (NAMA-Café Costa Rica). Igualmente, con los institutos de café y otras instituciones, se ha aportado a las políticas para el sector café y en particular a las agendas de investigación, educación y cooperación técnica en todos los países de PROMECAFE, en Ecuador y Bolivia (Cuadro 13).

Cabe destacar que en los últimos tres años el proyecto IICA-PROCAGICA-CATIE-UE, ha posibilitado un flujo constante de información científica generada en el ensayo de sistemas hacia las plataformas nacionales y regionales dedicadas a la investigación, asistencia técnica y fortalecimiento de capacidades establecidas en coordinación de los entes nacionales del sector café y el PROMECAFE a nivel regional.

Ampliación de la red de ensayos de largo plazo en SAF

Cuando el personal científico estableció en el año 2000 los dos experimentos de largo plazo en sistemas agroforestales con café en el CATIE, Turrialba, Costa Rica y en Masatepe, Nicaragua, tenía claro la importancia de promover la multiplicación de experiencias similares en diferentes lugares y países (Haggar *et al.* 2001). El comportamiento de las interacciones agroecológicas y su entendimiento frente a los diversos enfoques y estrategias productivas transformadoras están vinculadas a un complejo de factores que se expresan de manera diversa en diferentes contextos. Luego de 20 años de promoción y colaboración con diferentes grupos, CATIE ha apoyado iniciativas innovadoras de creación de ensayos de largo plazo con sistemas agroforestales. A continuación, se presenta una síntesis de las iniciativas.

-Fazenda da Toca, Itirapina, São Paulo, Brasil

La Toca es una empresa dedicada a la promoción y producción de productos orgánicos producidos en sistemas agroforestales y con principios agroecológicos. Entre 2016 y 2017 la Toca formalizó un intercambio de experiencias con CATIE, y particularmente con la coordinación del experimento de largo plazo de SAF Café de Turrialba. Aunque parte de la asesoría brindó apoyo a las iniciativas de la empresa para el diseño de posibles negocios de sistemas agroforestales en café, la cooperación tuvo énfasis en contribuir con su personal técnico con el diseño y establecimiento del primer ensayo brasileño de largo plazo en sistemas agroforestales orgánicos con cítricos (Cuadro 14).

Cuadro 13. Aportes de la investigación del ensayo de largo plazo en sistemas agroforestales con café (Turrialba, Costa Rica), a procesos de diseño e implementación de políticas cafetaleras

Instituciones colaboradoras/países	Acciones desarrolladas
PROMECAFE-IICA-CAC (2002 a 2020)	Aporte técnico-científico a la agenda ambiental y de sostenibilidad promovida por el Programa Cooperativo Regional para el Desarrollo Tecnológico y Modernización de la Caficultura (PROMECAFE e IICA- CAC), que integra 10 países de Mesoamérica y América del Sur. Entre 2017-2020 aportes a la agenda de investigación/validación y desarrollo del Programa CATIE-PROCAGICA-IICA-UE
ICAFE-INTA-MAG-FONAFIFO-CATIE-FUNDACIÓN CAFÉ FORESTAL, Costa Rica	Diseño y desarrollo de propuesta piloto de pago por servicios ambientales para sistemas agroforestales establecidos en cafetales de Costa Rica.
Ministerio de Agricultura y Ganadería, Acuicultura y Pesca (MAGAP-INIAP), Ecuador, (2014-2016)	Mediante intercambios técnico-científicos, desarrollo de investigaciones conjuntas en Costa Rica y Ecuador en el marco del proyecto Agroforestería sostenible en la Amazonia ecuatoriana (Proyecto AFAM-CATIE-INIAP), se consolida la incorporación de la agroforestería con bases científicas en las estrategias del MAGAP e INIAP. Se establece la red de ensayos de largo plazo en café, cacao y naranjilla en la Amazonia ecuatoriana con asesoría de la plataforma de investigadores del ensayo SAF café de Costa Rica
ICAFE-MAG-MINAET-CATIE-CIRAD-FUNDECOOPERACIÓN, Costa Rica	En el marco de las políticas nacionales dadas por la Estrategia de Cambio Climático, Programa País Carbono Neutralidad y el Plan de Acción para el Cambio Climático y la Gestión Agroambiental 2011-2014, se apoyó el diseño de la primera NAMA agrícola del mundo (Acciones Nacionalmente Apropiadas para la Mitigación): NAMA-café Costa Rica (2011)
PROMECAFE- ANACAFE-IHCAFE- ICAFE-PROCAGICA-IICA-UE (2019)	Aporte a la preparación de estrategias regionales en el contexto de cambio climático y café, incluida NAMA-café
MDRT-INIAF-SENASAG-Seguridad Alimentaria AGRER-AECOM-TRANSTEC Bolivia (2018-2019)	A partir de intercambios, pasantías y asesorías con decisores y personal técnico, el ensayo brindó información de apoyo para la implementación del Programa Nacional de Café de Bolivia
ANACAFE-IHCAFE-ICAFE-INTA-FUNCAFOR-CATIE/PRCC/USAID-CATIE-PROCAGICA-IICA-UE (Guatemala, Honduras, Costa Rica, Nicaragua)	Implementación de metodologías para la valoración aplicada de análisis de vulnerabilidad y capacidad adaptativa de fincas cafetaleras ante el cambio climático, incorporadas en programas de implementación de las políticas ambientales de los institutos de café

Cuadro 14. Ensayo de largo plazo en sistemas agroforestales con cítricos en la Hacienda de la Toca, Itirapina, São Paulo, Brasil

Período de establecimiento y local	Finales del año 2017 e inicio del 2018 en la Hacienda de la Toca, ubicada en las coordenadas geográficas de 22°13'36.63" S y 47°44'56.02" O, a una altitud aproximada de 800 m, en el municipio de Itirapina, São Paulo, Brasil.
Objetivo general	Evaluar si los cítricos (<i>Citrus</i> sp.) en los sistemas agroforestales bajo diferentes niveles de sombra, mejoran la calidad del suelo, el desarrollo vegetativo de las plantas, la productividad de las diferentes variedades de cítricos y la calidad de las frutas.
Objetivos específicos	<ul style="list-style-type: none"> - Evaluar los atributos químicos (pH, fósforo disponible, cationes intercambiables, acidez potencial, capacidad de intercambio catiónico, saturación de bases, materia orgánica y micronutrientes), físico (granulometría, densidad y porosidad, curva de retención de agua en el suelo, contenido de agua del suelo y resistencia del suelo a la penetración) y <i>stock</i> de carbono del suelo en los diferentes tratamientos. - Evaluar aspectos morfológicos (altura, tallo y diámetro de la corona), y medir la productividad de ocho variedades de cítricos en diferentes tratamientos. - Evaluar los aspectos morfológicos (altura, tallo y diámetro del dosel) de nueve especies de árboles en diferentes tratamientos. - Evaluar los aspectos físicos (longitud y diámetro de la fruta, peso fresco, color de la piel) y químicos (pH, contenido de sólidos solubles, acidez titulable total, ácido ascórbico y actividad antioxidante) de las frutas de las ocho variedades de cítricos en los diferentes tratamientos.

Fuente: Bezerra (2019)

Diseño experimental

El experimento se basó en un diseño de bloques al azar, con cuatro tratamientos y tres repeticiones, con un total de 12 parcelas y un área útil de 4960 m² cada una y 59 520 m² en total. El experimento tiene un área fronteriza de 25 580 m², totalizando 85 100 m² (Cuadro 15, Figura 14).

Cuadro 15. Descripción del ensayo de largo plazo en sistemas agroforestales con cítricos y manejo orgánico, Hacienda de la Toca, São Paulo, Brasil

Área total del ensayo	59 520 m ² (320 x 186 m) = 5952 ha
Área de parcela	4960 m ² (62 x 80 m) = 0,496 ha
Repeticiones	3 bloques
Tratamientos	1. Cítricos sin sombra 2. Cítricos SAF con 60% de sombra 3. Cítricos SAF con 80% de sombra 4. Cítricos SAF con 100% de sombra
Manejo	Manejo orgánico intensivo

Fuente: Bezerra (2019)

Las ocho variedades de cítricos estudiadas son: cultivares orange valencian american y ruby orange (*Citrus sinensis* L. Osbeck), clove tangerine y murcote tangerine (*Citrus reticulata* Blanco), river tangerine (*Citrus deliciosa*), clove lemon (*Citrus bigaradia*), limón siciliano (*Citrus limon*) y caviar de limón (*Citrus australasica*).

El sombreado natural de los cítricos está conformado por un consorcio de especies nativas de árboles maderables: peroba-rosa (*Aspidosperma polyneuron*), jequitibá (*Cariniana legalis*), ipê-felpudo (*Zeyheria tuberculosa*) y louro-pardo (*Cordia trichotoma*) y especies de servicio:

ingá (*Inga edulis*), eritrina (*Erythrina speciosa*) y farinha seca (*Albizia niopoides*), además de especies exóticas como eucalipto (*Eucalyptus urograndis*) y gliricidia (*Gliricidia sepium*).

El experimento tiene dos años, a través de los cuales las plantas se están desarrollando bien. Hasta el momento, cuenta con una tesis doctoral realizada por la estudiante Leila Pires Bezerra de la Faculdade de Engenharia Agrícola (Feagri)/Unicamp.

Hasta 2019, se han llevado a cabo mediciones trimestrales del crecimiento de las ocho variedades de cítricos y, semestralmente, de las nueve plantas de sombra. También se realizaron análisis químicos, físicos y de carbono de la primera colección de suelo. Los resultados preliminares apuntan a un mayor crecimiento para la mayoría de las variedades de cítricos, en el tratamiento con 80% de sombra.

Se espera que la investigación obtenga información técnica y científica sobre la influencia de diferentes niveles de sombreado natural en el desarrollo y la productividad de ocho variedades de cítricos y la calidad del suelo, contribuyendo a la construcción de una base de datos que pueda probar la viabilidad económica y aspectos sociales y ambientales de los sistemas agroforestales.

-Ensayo en la Estación Central de la Amazonia. INIAP, Ecuador

El Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias (INIAP), ha tenido una larga historia de colaboración con el CATIE. En el periodo 2012-2017 se realizaron intercambios y actividades



Figura 14. Área experimental que representa los cuatro tratamientos, tres repeticiones y doce parcelas del ensayo de largo plazo en sistemas agroforestales con cítricos, Hacienda de la Toca, Itirapina, São Paulo, Brasil. Foto: Google Earth

de colaboración, algunas de las cuales se vincularon a estudios de maestría en el ensayo de sistemas agroforestales con café del CATIE en Costa Rica. En este

marco, también se apoyó al INIAP para establecer tres ensayos de largo plazo con café, cacao y naranjilla en la Amazonia ecuatoriana (cuadros 16, 17 y 18).

Cuadro 16. Ensayo de largo plazo en sistemas agroforestales con café en la Amazonia ecuatoriana, INIAP, Francisco de Orellana, Ecuador

Período de establecimiento y localización	Finales del año 2015 e inicios del 2016, en la EECA en Joya de los Sachas, provincia Francisco de Orellana
Objetivo general	Evaluar sistemas agroforestales bajo diferentes manejos agronómicos de café robusta (<i>Coffea canephora</i>) en la Joya de los Sachas.
Objetivos específicos	<ol style="list-style-type: none"> 1. Evaluar el efecto de la sombra y el manejo sobre las principales plagas y enfermedades en el cultivo de café robusta. 2. Evaluar el efecto de los sistemas agroforestales y diferentes manejos sobre las características físicas, químicas y biológicas del suelo en el cultivo de café robusta. 3. Evaluar el comportamiento agronómico de la guaba (<i>Inga spp.</i>) como componente de un sistema agroforestal de café robusta. 4. Evaluar el comportamiento de las especies forestales (bálsamo, porotillo – <i>Erythrina spp.</i>) en sistemas agroforestales de café robusta y diferentes manejos agronómicos. 5. Estimar el contenido de carbono almacenado en la biomasa aérea del sistema agroforestal de café robusta en cuatro edades diferentes. 6. Evaluar el comportamiento productivo y sanitario de nueve materiales genéticos promisorios de café robusta en sistemas agroforestales y dos manejos agronómicos. 7. Evaluar la calidad química del mucílago de la especie de café robusta cultivada en dos diferentes sistemas agroforestales. Analizar económicamente los sistemas agroforestales bajo diferentes tipos de manejo agronómico de café robusta.
Metodología	La investigación se realiza en la Estación Experimental Central de la Amazonía de INIAP, Orellana, Ecuador. El ensayo consta de tres repeticiones bajo un diseño de bloques en parcelas divididas en arreglo de los tratamientos por franjas donde las parcelas grandes corresponden a los tipos de sombra o arreglo forestal y están cruzados por los manejos agronómicos del cultivo de café como parcelas pequeñas. La distribución de los sistemas como de los manejos son al azar. Las unidades experimentales donde se aplican los diferentes manejos bajo cada uno de los arreglos agroforestales propuestos, son parcelas de 12 x 12 árboles con un total de 144 árboles, en los que la parcela neta corresponderá a los 36 árboles centrales (6 x 6). Las variables de respuesta son evaluadas con base en cada objetivo específico: sombra y manejo de plagas; comportamiento de forestales y frutales; adaptabilidad y rendimiento de café; comportamiento de guaba bajo SAF; efecto sobre características físicas y químicas del suelo; características físicas, químicas y funcionales del cacao; y, relación beneficio-coste de los sistemas agroforestales.
Avances y/o resultados	<p>Los avances se resumen en la disponibilidad de bases de datos de acuerdo a los objetivos específicos propuestos; se evidencia in campo cambios del paisaje e incremento de la biodiversidad y ha sido posible realizar varios estudios específicos a nivel de pregrado y postgrado:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. K. Piato (C. Subía, F. Leffort). 2018. The evaluation of agroforestry systems in Robusta coffes plantations in the Amazonian Ecuadorian Region with respect to pests and diseases. Tesis para la obtención de Bachelor of Science HSO-SO en Agronomie. 2. Piato, K; Subía, Cristian R; Lefort, F; Calderón, D; Pico, J; Fernández, F. 2018. Determinación de la Sombra en Sistemas Agroforestales de Café <i>Coffea canephora</i> Pierre ex A.Froehner establecidos en la Joya de los Sachas, Provincia de Orellana. Póster 1er Congreso internacional alternativas tecnológicas para la producción agropecuaria sostenible en la Amazonía ecuatoriana. http://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/5464 3. K. Piato, 2019. Évaluation de l'effet de systèmes agroforestiers sur le développement de maladies et ravageurs de caféiers robusta en Amazonie équatorienne Piato Kevin. Agroflash. Agronomie hepia mai. 4. Piato K; Subía C; Norgrove L; Lefort, F.2019. Evaluation of agroforestry systems in Robusta coffe plantations in the Amazonian Ecuadorian Region with respect to pests and diseases. TROPENTAG 2019. Universities of Kassel and Göttingen, Germany (Póster). September. 5. Piato K; Subía C; Norgrove L; Lefort F. Do shade and nutrient management interact and affect pest and disease dynamics in Amazonian Ecuadorian coffee agroforestry systems? Tesis de Maestría Bern University of Applied Sciences. 6. Chávez, E; Subía, C. 2020. El manejo de especies de sombra y nutrientes impacta el desempeño del cafeto en las tierras bajas de la Amazonía: una evaluación temprana. INIAP-ESPOL-Universidad de Illinois. Artículo científico, en proceso.

Fuente: Virgínio Filho y Caicedo 2018.

Cuadro 17. Ensayo de largo plazo en sistemas agroforestales con cacao en la Amazonia ecuatoriana, INIAP, Francisco de Orellana, Ecuador

Período de establecimiento y localización	Finales del año 2015 e inicios del 2016, en la EECA en Joya de los Sachas, provincia Francisco de Orellana.
Objetivo general	Evaluar sistemas agroforestales bajo diferentes manejos agronómicos de cacao (<i>Theobroma cacao</i>) en la Joya de los Sachas.
Objetivos específicos	<ol style="list-style-type: none"> 1. Evaluar el efecto de la sombra y el manejo agronómico sobre la producción y las principales plagas y enfermedades en el cultivo de cacao. 2. Evaluar el efecto de los sistemas agroforestales y diferentes manejos sobre las características físicas, químicas y biológicas del suelo en el cultivo de cacao. 3. Caracterizar y evaluar el comportamiento agronómico del chontaduro (<i>Bactris gasipaes</i>), como componente de un sistema agroforestal de cacao. 4. Evaluar el comportamiento de las especies forestales (chuncho -<i>Cedrelinga catenaeformis</i>- y porotillo -<i>Erythrina</i> spp.) en sistemas agroforestales de cacao y diferentes manejos agronómicos. 5. Estimar el contenido de carbono almacenado en la biomasa aérea del sistema agroforestal de cacao en cuatro edades diferentes. 6. Evaluar el comportamiento productivo y sanitario de nueve materiales genéticos promisorios de cacao en sistemas agroforestales de cacao y dos manejos agronómicos. 7. Evaluar la calidad física, química y funcional de los frutos de dos clones de cacao cultivados bajo dos sistemas agroforestales y cuatro manejos. 8. Analizar económicamente los sistemas agroforestales bajo diferentes tipos de manejo agronómico de cacao.
Metodología	La investigación se realiza en la Estación Experimental Central de la Amazonía de INIAP, Orellana, Ecuador. El ensayo se dispone con tres repeticiones bajo un diseño de bloques en parcelas divididas en arreglo de los tratamientos por franjas donde las parcelas grandes corresponden a los tipos de sombra o arreglo forestal y están cruzados por los manejos agronómicos del cultivo de cacao como parcelas pequeñas. La distribución de los sistemas como de los manejos son al azar. Las unidades experimentales donde se aplicarán los diferentes manejos bajo cada uno de los arreglos agroforestales propuestos, son de 12 x 12 árboles con un total de 144 árboles, en los que la parcela neta corresponderá a los 36 árboles centrales (6 x 6). Las variables de respuesta son evaluadas con base en cada objetivo específico: sombra y manejo de plagas; comportamiento de forestales y frutales; adaptabilidad y rendimiento de cacao; comportamiento de chontaduro bajo SAF; efecto sobre características físicas y químicas del suelo; características físicas, químicas y funcionales del cacao; y relación beneficio-coste de los sistemas agroforestales.
Avances y/o resultados	En este ensayo se disponen las bases de datos de acuerdo a los objetivos específicos. Los cambios del paisaje e incremento de la biodiversidad son evidentes, los estudios continúan y/o varios avances han sido presentados en eventos científicos: <ol style="list-style-type: none"> 1. C. Subía, C. Caicedo, D. Calderón, L. Tinoco J. Pico, Y. Vargas, F. Fernández, N. Paredes, A. Vera, A. Díaz, S. Bastidas, D. Sotomayor, L. Lima, J. Intriago, C. Congo, M. Sánchez. 2017. Establecimiento de un ensayo en sistemas agroforestales de cacao con diferentes niveles de manejo en la Amazonía ecuatoriana”. Memorias del 2017 International Symposium on Cocoa Research (ISCR) realizado en Lima, Perú. 13-17 de noviembre. Download:ICCO Workshops and Seminars/International Cocoa Research Symposium-Lima, Peru, 2017/Proceedings of the International Symposium on Cocoa Research 2017/Thematic 2 2. Tinoco, L.; Díaz, A.; Congo, C.; Vargas, Y.; Caicedo, C. 2019. Eficiencia Energética del cultivo <i>Theobroma cacao</i> en Sistemas Agroforestales Amazónicos del Ecuador. I Simposio Internacional “Innovaciones Tecnológicas para Fortalecer la Cadena de Cacao en la Amazonía ecuatoriana. INIAP-EECA”. Julio. 3. Tinoco, L. 2019-2020. Efecto de arreglos agroforestales y niveles de manejo agronómico sobre la incidencia de monilia [<i>Moniliophthora roreri</i> (Cif & Par.) Evans <i>et al.</i>] en el cultivo de cacao (<i>Theobroma cacao</i> L.), en Orellana. Tesis de maestría en desarrollo.

Fuente: Virginio Filho y Caicedo (2018)

-Ensayo agroforestal basado en *Coffea arabica* var. *Esperanza L4A5* (Universidad EARTH)
La coordinación del ensayo de largo plazo SAF café de CATIE, ha colaborado en el establecimiento y segui-

miento de una investigación de largo plazo en sistemas agroforestales con café en la región Caribe de Costa Rica, particularmente en las instalaciones de la universidad EARTH (Cuadro 19).

Cuadro 18. Ensayo de largo plazo en sistemas agroforestales con naranjilla, en la Amazonia Ecuatoriana, INIAP, Morona Santiago, Palora, Ecuador

Período de establecimiento y localización	Junio del 2014, en la Granja Palora del INIAP
Objetivo general	Evaluar el comportamiento del cultivo de naranjilla (<i>Solanum quitoense</i> Lam.) bajo sistemas agroforestales (SAF) en callejones con gliricidia (<i>G. sepium</i>) y flemingia (<i>F. macrophylla</i>) por un periodo de cinco años.
Objetivos específicos	<ol style="list-style-type: none"> 1. Evaluar los cambios físicos, químicos y biológicos del suelo con cultivo de naranjilla SAF en callejones de flemingia y gliricidia. 2. Evaluar el aporte nutricional de la biomasa de flemingia y gliricidia. 3. Evaluar la producción del cultivo de la naranjilla en cultivo en callejones vs el cultivo convencional.
Metodología	La investigación se realiza en la Granja Experimental Palora del INIAP, Morona Santiago, Ecuador. Se aplicó un diseño de bloques al azar con ocho tratamientos, en donde la naranjilla variedad INIAP-Quitoense se combina con flemingia, gliricidia y niveles de fertilización (0,50 y 100%), con tres repeticiones. Se realizarán pruebas de Tukey al 5% los tratamientos y comparaciones ortogonales para tratamientos de omisión de leguminosas y fertilización. Las variables de respuesta son tres agronómicas y tres de propiedades físicas y propiedades químicas.
Avances y/o resultados	<p>Los avances del ensayo agroforestal se presentaron en diferentes eventos de difusión científica y actualmente se sistematiza y analiza la base de datos como tesis de posgrado:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Vargas, Y; Nicolade, J; Alcívar, W; Alcívar, E; Sánchez, E; Prado, J; Díaz, A. 2016. Cultivo de naranjilla (<i>Solanum quitoense</i> Lam.) bajo sistema agroforestal tipo callejones con gliricidia (<i>Gliricidia sepium</i>) y flemingia (<i>Flemingia macrophylla</i>). Ficha técnica. Convenio AFAM-CATIE-INIAP. Edición (Elias de Melo Virginio Filho, CATIE, Carlos Astorga, consultor CATIE, Carlos Caicedo, INIAP). 2. Vargas, Y; Díaz, A; Nicolalde, J; Pitizaca, G; Alcívar, W; Alcívar, E; Sánchez, E. 2018. Cultivo de naranjilla (<i>Solanum quitoense</i> Lam.) bajo sistema agroforestal tipo callejones con gliricidia (<i>Gliricidia sepium</i>) y flemingia (<i>Flemingia macrophylla</i>). Resumen. 1er Congreso Internacional Ciencia y Tecnología Agropecuaria. Quito, Ecuador. 3. Díaz, Alejandra. 2019-2020. Producción sostenible de naranjilla (<i>Solanum quitoense</i> Lam.) variedad iniap quitoense 2009 en sistemas agroforestales tipo callejones on gliricidia (<i>Gliricidia sepium</i>) y flemingia (<i>Flemingia macrophylla</i>) en el cantón Palora, provincia de Morona Santiago. Tesis de Maestría, en proceso.

Fuente: Virginio Filho y Caicedo (2018)

Cuadro 19. Ensayo de largo plazo en sistemas agroforestales con café en la región Caribe de Costa Rica

Período de establecimiento y localización	Año 2017, en un área de 0,85 hectáreas de la Universidad EARTH, ubicada entre las coordenadas 10° 12' 24" N y 83° 35' 35" O y a una elevación de 43 msnm
Objetivo general	- Evaluar el crecimiento y la productividad del híbrido <i>Coffea arabica</i> var. Esperanza (L4A5) establecido en suelos de origen aluvial y en relación a la fertilización y a las diferentes asociaciones arbóreas.
Objetivos específicos	<ol style="list-style-type: none"> 1. Determinar el crecimiento y la productividad del híbrido Esperanza (L4A5) considerando la fertilización y las diferentes asociaciones con árboles 2. Determinar la duración de las fases fenológicas del híbrido Esperanza (L4A5) considerando la fertilización y las diferentes asociaciones con árboles 3. Comparar la efectividad de los aportes diferenciados de fertilizantes sobre la primera producción de café 4. Comparar los diferentes socios de árboles maderables y de servicio con base al crecimiento y la producción de café 5. Determinar el efecto de la distancia de los árboles sombra sobre las plantas de café 6. Determinar la tolerancia de los híbridos Esperanza (L4A5) a la roya (<i>Hemileia vastatrix</i>) y ojo de gallo (<i>Mycena citricolor</i>)

Fuente: Morales (2019)

En el marco de una investigación doctoral de la Universidad de Costa Rica, en 2017 se estableció un ensayo agroforestal ubicado en el campus de la universidad EARTH, Costa Rica. Considerando la escasa información existente del híbrido interespecífico *Coffea arabica* var. Esperanza L4A5 en el contexto de producción agroforestal en zonas de bajura, se diseñó un ensayo que considera las interacciones árboles-café, los aportes diferenciados de nutrientes y las prácticas culturales.

Además de los aspectos de investigación abordados por los objetivos del ensayo (Cuadro 19), también se pretende conocer el potencial de producción para, de esta manera, influir en la activación de proyectos productivos en la región del Caribe costarricense.

En vista de lo anterior, el proyecto de investigación inició considerando tres etapas: a) la adaptabilidad del híbrido al piso altitudinal de bajura (suelos de origen aluvial); b) el establecimiento de las coberturas arbóreas en el contexto del diseño experimental y c) las opciones de manejo adaptadas a las condiciones de la zona. Como pasos previos, se generó información aéreo fotogramétrica y de suelos, las cuales, una vez recopilados, procesados y analizados, dieron paso al establecimiento del ensayo (Figura 15).

Como resultados generales de esta primera etapa, los cafetos registraron una sobrevivencia del 91% y alcanzaron todas las fases fenológicas de forma asincrónica. Aunque la cosecha de café no fue parte de los objetivos iniciales, se lograron beneficiar 110 kilogramos de grano cereza de forma artesanal.

-Ensayo de largo plazo SAF con cacao, CATIE, Turrialba

El grupo de investigación de cacao del CATIE, estuvo siempre muy de cerca de las investigaciones desarrolladas en el ensayo de largo plazo de SAF café y, al considerar la relevancia de los enfoques y aportes generados por este ensayo, decidieron iniciar un experimento de SAF largo plazo en cacao. En el Cuadro 20 presenta la información del diseño experimental del ensayo.

-Ensayo de largo plazo de pasturas, CATIE, Turrialba

A partir del mes de mayo de 2020, la finca del CATIE dedicada a la producción de leche, en Turrialba, Costa Rica, cuenta con un ensayo de investigación con especies forrajeras a largo plazo. El ensayo con forrajes busca identificar opciones forrajeras para un sistema silvopastoril que mejore la competitividad y la gestión ambiental y climática de fincas dedicadas a la producción de leche, en zonas del trópico bajo de América Latina y el Caribe.



Figura 15. Ensayo agroforestal de largo plazo con *Coffea arabica* var. Esperanza (L4A5), EARTH, Guácimo, Costa Rica. Foto: V. H. Morales.

Cuadro 20. Ensayo de largo plazo en sistemas agroforestales con cacao, CATIE, Turrialba, Costa Rica

Período de establecimiento y localización	El ensayo se estableció durante el año 2020. Está ubicado en la finca La Montaña, contiguo a la colección internacional de cacao.
Objetivo general	Contribuir con información científica y técnica del desempeño de sistemas agroforestales de cacao orientados a producir altos rendimientos de manera amigable con el ambiente
Objetivos específicos	<ol style="list-style-type: none"> 1. Evaluar la interacción entre clones promisorios de cacao, tipos de manejo y tipos de sombra en sistemas agroforestales 2. Evaluar el efecto de dosis de fertilización química y orgánica sobre la producción de cacao 3. Evaluar tipos de poda de cacao sembrado en altas densidades 4. Elaborar manuales de enseñanza para técnicos y guías para productores con recomendaciones técnicas derivadas de la investigación. <p>Las recomendaciones serán una combinación de prácticas para manejar cacao desde su establecimiento hasta su plena producción</p>
Área total del ensayo	El área total del ensayo es de cinco hectáreas aproximadamente
Tratamientos	De acuerdo a los objetivos específicos planteados, el ensayo está compuesto por varios experimentos. El más grande corresponde al objetivo específico 1, que incluye tres factores en estudio y sus interacciones: clones (8), manejo (orgánico y convencional) y tipos de sombra (simple y diversificada). Los otros experimentos ocupan menos áreas con tratamientos puntuales como dosis de fertilización y tipos de poda.

- *El objetivo es identificar sistemas forrajeros que mejoren la competitividad y la gestión ambiental y climática de fincas dedicadas a la producción de leche en zonas del trópico bajo*

El establecimiento del ensayo inició en noviembre de 2018, consta de cuatro hectáreas y tiene cuatro distintos arreglos con las siguientes forrajeras: pasto cayman en monocultivo, pasto cayman en asocio con *Leucaena diversifolia*, pasto cayman en asocio con *Arachis pintoii* y pasto cayman en asocio con *A. pintoii* y *Tithonia diversifolia*. Estos arreglos ya están siendo utilizados en las finca de algunos ganaderos, pero aún no se cuenta con suficiente información productiva, económica y ambiental de los sistemas.

El diseño del ensayo se construyó de forma participativa mediante la alianza Bioersity-CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical) y el proyecto Intensificación Sostenible de la Lechería, que en Costa Rica es implementado por el CATIE y el Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria (INTA).

Cabe destacar que el pasto cayman (un híbrido de *Brachiaria*), el cual se utiliza en los cuatro tratamientos o arreglos del ensayo, es un pasto de la tercera generación desarrollado por CIAT, el cual tolera periodos

cortos de encharcamiento y tiene mayor rendimiento de biomasa y de calidad en comparación con otros pastos de uso tradicional en el trópico bajo.

Tras la fase de establecimiento, se están iniciando distintas investigaciones con estudiantes de posgrado del CATIE y de otros centros educativos, así como con estudiantes de pregrado de otras universidades. Algunos de los temas a estudiar son: costos de establecimiento del sistema silvopastoril con opciones forrajeras; dinámica de los parámetros físicos, químicos y biológicos el suelo; fijación de carbono; disponibilidad y calidad de forraje; producción y calidad de leche; emisión de metano entérico y análisis financieros, entre otros.

CONCLUSIONES

Como una primera conclusión general, relacionada a la superación de las limitantes durante el establecimiento del ensayo de largo plazo, se establece que hubo estrategias y prácticas efectivas que permitieron la restauración mínima del suelo y viabilizaron la implementación de los complejos protocolos de investigación (Figura 16).

Repasando los grandes objetivos de investigación planteados al inicio y los resultados generales logrados en dos décadas, se puede concluir:

- Los efectos de la composición y el tipo de sistemas evaluados, los tipos y niveles de insumo y variedades sobre el crecimiento y rendimiento del café, la dinámica de plagas y enfermedades, flora y fauna



Figura 16. Imagen aérea (dron) de los límites entre el bloque 1 (derecha) y el 2 (izquierda) que ilustra los gradientes microclimático y agroecológico variados producidos en el ensayo de largo plazo de SAF con Café, CATIE, Turrialba, Costa Rica. Foto: M. Martínez, 2018

(lombrices, aves), así como los ciclos de nutrientes y materia orgánica pudieron ser valorados en el tiempo. Los estudios de calidad de café aportan información sobre variables de rendimiento en el tiempo; sin embargo, hacen falta más evaluaciones sobre calidad organoléptica de los cafés producidos en los diferentes sistemas.

- Se cuantificó el crecimiento y desarrollo de los diferentes estratos arbóreos en términos de acumulación de biomasa, producción de leña, madera y hojarasca y su efecto sobre el microclima, biología del suelo y materia orgánica. Además, se pudo contrastar las interacciones entre sombra, manejo de nutrientes, plagas y variedades en los contextos específicos de suelo, clima y altitud.

El monitoreo constante de variables climáticas ha sido determinante para brindar soporte a los estudios de interacciones entre composición y manejo de los sistemas y cambio climático. Sin embargo, las evaluaciones de microclima cubrieron tiempos específicos de investigaciones especializadas con estudios de tesis y proyectos. Particularmente los aportes inéditos de los estudios microclimáticos realizados por el Proyecto MACACC - COFFEEFLUX entre 2014 y 2017, con apoyo de

torres de flujo, brindaron información relevante sobre la comparación entre sistemas agroforestales entre sí y con el testigo a pleno sol.

Los sistemas productivos de pleno sol (AC, MC), así como los SAF con árboles de servicio (AC, poda drástica de los árboles) con café de la variedad Caturra, aun cuando mantuvieron niveles altos de productividad, impactaron negativamente en las condiciones de acidez y vida del suelo, presentando agotamiento de café en los primeros años, ausencia de control natural de la roya, bajo ciclaje de nutrientes (solo pleno sol), muy baja captura de carbono (solo pleno sol), altas emisiones de carbono (menos pleno sol MC), además de que no contribuyeron a la diversificación de la economía.

El sistema SAF con el maderable (*Terminalia amazonia*, no fijador de nitrógeno, con la variedad Caturra y manejo bajo orgánico (BO), perdió la viabilidad en los primeros 10 años de estudio, pasando a ser una referencia importante a la hora de discutir el diseño y manejo de cafetales con productores de escasos recursos y que optan por la producción orgánica. Este mismo sistema se ha mantenido productivo tanto con la variedad Costa Rica 95 como con el Híbrido F1 (L2A11).

Se ha confirmado que los SAF atenúan las altas temperaturas. Por otro lado, tanto en plena exposición solar como en las sombras densas (>55%), se comprometió el equilibrio entre sanidad, productividad sostenible y vigor de plantación.

La presencia del árbol de servicio *Erythrina poeppigiana*, bajo las composiciones y diseños considerados, ha mejorado el desempeño productivo y los servicios ambientales evaluados para todos los tipos y niveles de manejo (convencionales y orgánicos). En general los SAF, tanto con árboles de servicio como maderables, presentan una mejor valoración en términos de servicios ambientales con respecto a los sistemas en pleno sol.

Los sistemas que más se destacan, al cabo de 20 años, en términos de equilibrio entre productividad y servicios ambientales son: SAF con árbol de servicio (*E. poeppigiana*), manejo intensivo orgánico (MO) y SAF con *E. poeppigiana* en manejo moderado convencional (MC). Los sistemas con *E. poeppigiana* y los de *E. poeppigiana* más *Chloroleucon eurycyclum*, ambos en manejo bajo orgánico (BO), han presentado buena rentabilidad a bajo costo de manejo y buenos valores de servicios ambientales. En síntesis, tanto con manejos orgánicos como con manejos convencionales moderados (reducción de agroquímicos sintéticos), hay propuestas de diseños y manejos prometedores y, en particular, si se combinan con variedades de café mejoradas, las cuales presentan mayor rusticidad, potencial productivo y tolerancia/resistencia a la roya.

- Se ha logrado el desarrollo y promoción de métodos que identifican sinergismos agroecológicos, así como la generación de información sobre sostenibilidad productiva y económica para el cultivo del café. Los estudios apuntan a la necesidad de nuevos temas complementarios de investigación en el campo biofísico, tales como la profundización de los efectos alelopáticos y/o competencia (nutrientes, agua, etc.) de las especies arbóreas, en particular dando énfasis a *Terminalia amazonia*.

En lo que respecta a la rentabilidad de los sistemas en evaluación, las investigaciones realizadas aportan datos y elementos para orientar las estrategias de diseño y manejo de sistemas agroforestales sostenibles y con potencial de restauración del suelo y biodiversidad. Un detalle importante es que los

dos estudios de rentabilidad de los sistemas (2010 y 2017), incluyeron información de ventas de madera y leña generada en aprovechamientos intermedios, sin considerar el valor final de venta de la madera remanente y el sobreprecio que se paga por café orgánico certificado.

- El trabajo colaborativo de la plataforma de investigación con instituciones y proyectos vinculados al ensayo, ha logrado desarrollar y promover enfoques integrados e interdisciplinarios en el estudio de los sistemas de producción y, en particular, los sistemas agroforestales. Lo anterior, constituye uno de los principales logros, como lo fue indicado por Rapidel *et al.* (2015) “...sistemas agroforestales son complejos, y su manejo requiere conocimiento detallado. Por lo tanto, es preciso profundizar la investigación en algunos aspectos claves, así como también aprovechar el conocimiento local de los productores.” Merece destacarse el conjunto de base de datos multi-temas que se ha generado, así como la amplia producción técnica-científica, las sinergias para la aplicabilidad del conocimiento en procesos de fortalecimiento de capacidades y los vínculos con la formulación y promoción de políticas cafetaleras con enfoque de sostenibilidad.

El haber concretado la colaboración y apoyo a otras experiencias de estudio de largo plazo en sistemas agroforestales, como los casos de la Hacienda de la Toca en Brasil, INIAP en la Amazonia ecuatoriana y la EARTH en Costa Rica, constituye un aporte a destacar para el fortalecimiento de la ciencia agroforestal. Sin embargo, sigue siendo fundamental ampliar el número de plataformas de investigación científica con base en ensayos de largo plazo en sistemas agroforestales tanto con café como con otros cultivos.

Dado el carácter preliminar de los esfuerzos de integración y análisis de los resultados del conjunto amplio de estudios realizados en el ensayo de CATIE, se recomienda que a futuro se sigan fortaleciendo y ampliando los esfuerzos de síntesis de información.

Ha sido un reto haber llegado a la meta de los 20 años de estudio; sin embargo, las particularidades de la dinámica de los sistemas investigados, la necesidad de seguir profundizando los hallazgos de manera integral, los nuevos temas de investigación

ya formulados, la riqueza de información generada y las necesidades permanentes de un trabajo colaborativo con el sector cafetalero, justifican el esfuerzo de ampliación del plazo final previsto del ensayo de largo plazo. En este sentido, se renueva la necesidad crucial de garantizar el apoyo en términos de recursos y equipo humano para seguir aprovechando el potencial de la plataforma desarrollada.

RECOMENDACIONES

Considerado la importancia de la información microclimática y su vínculo con la fisiología de cultivo café, sería oportuno dar continuidad a estudios del mismo perfil, ya sea mediante estudios de tesis o en proyectos de investigación específicos. Al inicio se pensaba contar también con ensayos en zonas altas en diferentes países, se plantearon hipótesis sobre la influencia de la altitud y los SAF café; sin embargo, sigue pendiente el poder contar con experimentos de largo plazo en zonas de mayor altitud.

Considerando el valor científico de las interacciones agroecológicas en estudio, el potencial productivo de la mayoría de los sistemas en campo, y el hecho de que el ciclo final ideal para aprovechamiento de la madera en los SAF podría estar entre 25 y 30 años, se recomienda dar continuidad a las gestiones que permitan mantener el ensayo de largo plazo por mucho más tiempo.

AGRADECIMIENTOS

El personal científico encargado de la conducción del ensayo de largo plazo en sistemas agroforestales con café, ubicado en CATIE, Turrialba, reconoce y agradece el apoyo brindado por muchas personas que directa e indirectamente han posibilitado los logros alcanzados. La lista es muy amplia y, aun asumiendo el riesgo de haber olvidado involuntariamente con el tiempo a alguien, queremos destacar una lista de personas colaboradoras que hicieron posible estos 20 años de aporte a la ciencia, la caficultura y la construcción de un mundo ambiental y socialmente mejor. Nuestros más sinceros agradecimientos a:

- Personal que apoyó la fase de establecimiento del ensayo de largo plazo: Pedro Ferreira, Director general de CATIE; comité técnico-científico directivo (Charles Staver, Jeremy Hagggar, Elias de Melo Virginio Filho, Amilcar Aguilar), comité técnico-científico asesor (John Beer, Phillipe Vaast, Jean Michel Harmand, Eduardo Somarriba, Vera

Sánchez, Luko Hilje, Herve Etienne, Reinhold Muschler, Francisco Jiménez, Ulrike Krauss), personal técnico-científico colaborador (Donald Kass, Andrea Schlonvoigt, Muhammad Ibrahim, Luis Meléndez, Markku Kanninen, Benoit Bertrand, Francisco Mesén, Florencia Montagnini, Carola Scholz, Rodolfo Salazar, Carlos Navarro, y los técnicos de la oficina de ICAFE-Turrialba (Luis Guillermo Ramírez, Martín Hidalgo, Juan Carlos Araya Vega y Carlos Cordero), así como a la misión de especialistas nacionales de ICAFE de junio 2003, Carlos Fonseca, Eliécer Campos, Víctor Chaves, Olger Borbón por los importantes aportes a los protocolos de manejo. A Leslie Cooperband (University of Wisconsin), Martha Rosemeyer (University of Wisconsin), a docentes/investigadores de la UCR (Ana C. Tapia, Lolita Durán, Werner Rodríguez, Renán Agüero), personal administrativo (Rodolfo Arguedas, Luis Enrique Ortiz, Antonio Salas), asistentes de campo (Paulo Dittel, Alexis Pérez, Mario Cervantes, Manrique González, Walter Ramírez), asistente del campo responsable de plan de manejo (Luis Fernando Romero), personal de administración de la finca de CATIE (Manuel Gómez Méndez, Alberto Vargas), apoyo secretarial (Celia López, Lorena Jiménez, Patricia Aguilar), personal de campo (Carlos Martínez, José Luna, Ricardo Molina, Minor Torres, Greivin Nuñez, Jorge Fuentes, Rodney Alvarez, Henri Rodríguez, Victorino Loaiza, Enrique Flores, Luis Araya, José Camacho, José Calvo, Rafael Ángel Rodríguez, Carlos Avendaño, Franklin Moya, Sergio Nuñez, Alfonso Arroyo, Bernardo Pereira, Elvis Pereira, Simón Solís (ACSAF), José Ángel Quirós (ACSAF), Joaquín Soto (ACSAF), Marvin Saborío (ACSAF), Francisco Núñez (ACSAF), William Cordero, viverista (Carlos Castro), operador de maquinaria para drenaje Eval Brenes.

- Personal vinculado a la fase de desarrollo de la plataforma: los directores generales de CATIE (José Joaquín Campos, Muhammad Imbrahim); personal administrativo (Margarita Alvarado, Jazmín Salazar) y secretarial (Rebeca Madriz), Heiner Arce Rodríguez (administrador de la finca de CATIE 2005-2007), Alejandro Molina C. (administrador de la finca de CATIE, actualmente), al personal del laboratorio de suelos (Patricia Leandro Montoya y Carlos Fernández Gutiérrez), los asistentes de campo Hugo Méndez y Alejandra Barquero.

- Equipo de bioestadística: Fernando Casanoves, Sergio Vílchez, Eduardo Corrales.
- Personal de seguridad (**equipo inicial:** Jesús Mata Soto (jefe de seguridad), Alfonso Rivera Madriz, Alexander Hernández Sánchez, José Salguero Umaña, Juan Carlos Molina Madriz, Octavio Torres Solano, Danny Cambroner Molina, Gustavo Zamora Porrás, Luis Mora, José Ángel Segura Cascante, Humberto Valverde Leandro, Luis Carlos Navarro Fuentes, Erick Camacho Álvarez; **equipo actual:** José A Barboza Aguilar, jefe de seguridad, Greivin Vives Chávez, Marcos Navarro Mora, Yasniel Calderón Coto, Oscar Bogarín Gutiérrez, Adrián Vásquez Barquero, Ronald Pereira Moya, Rigoberto Vargas Quirós, Gabriel Cordero Fernández, Álvaro Durán Mena, Héctor Araya Martínez, Alberto Marín Acuña, Marvin Molina Cervantes, Martín Sánchez Montoya, Warner Calvo Sánchez, Oscar Fabián Rivera Romero y Martín Flores Brenes).
- Las empresas cafetaleras Beneficio San Rosa, Aquiares y Hacienda Juan Viñas por los apoyos logísticos de gestión y manejo, así como por el intercambio de experiencias.

BIBLIOGRAFÍA

- Altieri, MA. 2001. Comentarios sobre el ensayo de sistemas agroforestales con café. Informe de visita de campo, 13 de septiembre de 2001.
- Aquino, AM; Virgínio Filho, E de M; Ricci, MSF; Casanoves, F. 2008. Populações de minhocas em sistemas agroflorestais com café convencional e orgânico. *Cienc. Agrotec.* 4(2008):1184-1188.
- Bezerra, LP. 2019. Avaliação de Citrus sp em sistemas agroflorestais. Projeto de pesquisa de doutorado. Faculdade de Engenharia Agrícola (FEAGRI)/UNICAMP, Campinas, São Paulo, Brasil.
- CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza). 2005. Regional program on ecologically based participatory implementation of integrated pest management and Coffee agroforestry in Nicaragua and Central América-(CAM-007). Final report on results and impacts -1998-2004. 130 p.
- CATIE - CIRAD - UE (Centro Agronómico Tropical de investigación y Enseñanza) - (Centro de Cooperación Internacional en Investigación Agronómica para el Desarrollo) - (Unión Europea). 2011. Conectando y sosteniendo los servicios ambientales y de mercados para café agroforestal en Centroamérica (Costa Rica, Guatemala y Nicaragua). Informe final enero 2007 a junio 2011. Turrialba, Costa Rica. 96 p.
- CEPAL (Comisión Económica para América Latina y el Caribe). 2003 Istmo centroamericano: evolución del sector agropecuario, 2001-2002. Ciudad de México, México. 24 p.
- Dolenc, G. 2017. Relatorio de Intercambio-Estágio. USP-ESALQ. 23 p.
- Fournier, LA. 1981. Importancia de los sistemas agroforestales en Costa Rica. *Agronom. Costarr.* 5(1/2):141-147.
- Haggar, J; Staver, C; Virgínio Filho, E. de M. 2001. Sostenibilidad y sinergismo en sistemas agroforestales con café: estudio de interacciones entre plagas, fertilidad del suelo y árboles de sombra. *Agroforestería en las Américas* 8-29:49-51.
- Haggar, J; Barrios, M; Bolaños, M; Merlo, M; Moraga, P; Munguia, R; Ponce, A; Romero, S; Soto, G; Staver, C; Virgínio, E. de M. 2011. Coffee agroecosystem performance under full Sun, shade, conventional and organic management regimes in Central America. *Agroforest Syst.* 82:285-301.
- ICAFFE (Instituto del Café, Costa Rica). (1998. Manual de recomendaciones para el cultivo del café. 1ªEd. Heredia, Costa Rica, ICAFFE-CICAFFE. 193 p.
- López, L. B; Virgínio Filho, E. de M; Vela, A.V; Casanoves, F. (2020) Actividad biológica de suelo: indicadores para el diseño y manejo de sistemas agroforestales con café. (Artículo en fase de publicación)
- McDaniel, P; Kass, D. 2001. Soil descriptions and classification. Turrialba, Costa Rica, (Report).
- Merlo, M. 2007. Comportamiento productivo de café (*Coffea arabica* var Caturra), el poró (*Erythrina poeppigiana*), el amarillón (*Terminalia amazonia*) y el cashá (*Chloroleucon eurycyclum*) en sistemas agroforestales bajo manejos convencionales y orgánicos en Turrialba, Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 92 p.
- Morales, VH. 2019. Crecimiento y productividad de *Coffea arabica* var. Esperanza ((L4A5) asociada a tres especies forestales con aportes diferenciados de fertilizantes en suelos de origen aluvial del Bosque muy Húmedo Tropical de la región Caribe de Costa Rica. Anteproyecto de tesis de Doctorado en Ciencias Agrícolas. San José, Costa Rica, Universidad de Costa Rica. 30 p.
- Noponen, MR. 2012. Carbon and economic performance of coffee agroforestry systems in Costa Rica and Nicaragua. Ph. D. Thesis. Turrialba, Costa Rica, Bangor University y CATIE. 191 p.
- OIC (Organización Internacional del café). 2002. La crisis mundial del café: una amenaza al desarrollo sostenible. s. l. 5 p. Disponible en <http://www.ico.org/documents/globalcrisisc.pdf>
- Perdono, Y. 2008. Caracterización de aves, insectos y pequeños mamíferos en el ensayo de sistemas agroforestales en café del CATIE, Turrialba, Costa Rica. Tesis de grado. Tolima, Colombia, Universidad del Tolima. 72 p.
- Rapidel, B; Allinne, C; Cerdán, C; Meylan, L; Virgínio Filho, E. de M; Avelino, J. 2015. Efectos ecológicos y productivos del asocio de árboles de sombra con café en sistemas agroforestales. In Montagnini, F; Somarriba, E; Murgueitio, E; Fassola, H; Eibl, B (eds.). *Sistemas agroforestales: Funciones productivas, socioeconómicas y ambientales.* Cali, Colombia, CIPAV; Turrialba, Costa Rica, CATIE. (Serie técnica. Informe técnico n° 402). p. 5-19.
- Rossi, E; Montagnini, F; Virgínio Filho, E. de M. 2011. Effects of management practices on Coffee Productivity and Herbaceous Species Diversity in Agroforestry Systems in Costa Rica. In Montagnini, F; Francesconi, W. Rossi, E (eds). *Agroforestry as a tool for Landscape restoration.* New York, United States of America, Nova Science Publishes. p. 115-132).
- Salgado, J L. 2010. Fijación de carbono en biomasa aérea y rentabilidad financiera de sistemas agroforestales con café en Turrialba, Costa Rica y Masatepe, Nicaragua. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 109 p.
- Sauvadet, M; den Meersche, K.V; Allinne, C; Gay, F; Virgínio Filho, E. de M; Chauvat, M; Becquer, T; Tixier, P; Harmand, J-M.

2018. Shade tree species impacts on soil fauna And C, N, P cycles in Costa Rica organic and conventional Coffee agroforestry systems. 20th Nitrogen Workshop, Rennes (France), June 25-27th 2018.
- Soma, M. 2015. On the relationship between structure and canopy temperature in stands: comparing Shaded and Full-Sun situations in a coffee agroforestry trial in Costa Rica. Tesis Mag. Sc. AgroParis Tech, Francia, Univeristé de Lorraine.
- Soncim, I; Virgínio Filho, E de M; Righi, C; Shiota, R. 2019. Rentabilidad económica de sistemas agroforestales con café: estudio de largo plazo en Turrialba, Costa Rica. XXIV Simposio Latinoamericano de Caficultura, Guatemala, septiembre (2019) 17-28.
- Soncim, I. 2017. Relatorio de Intercambio-Estágio. Ciudad, País, USP-ESALQ. 23 p.
- Soto, G; García, L; Munguía, R; Hagggar, J; de Melo, E; Barrios, M; Staver, C; Frey, S. 2010. Impact Of conventional and organic coffee agroforestry systems on soil characteristics in an Andisol in Masatepe, Nicaragua and an Ultisol in Turrialba, Costa Rica. Turrialba, Costa Rica. CATIE-UNA-Bioiversity-University of New Hampshire.
- Soto, G; García, L; Hagggar, J; de Melo, E; Munguía, R; Staver, C. 2006. Efecto del sistema de manejo del café (*Coffea arabica*), orgánico y convencional, con diferentes árboles de sombra sobre las características del suelo en un andisol en Nicaragua y un ultisol en Costa Rica. Boletín PROMECAFE-IICA 108(2006)7-13.
- Vela, ALV. 2014. Valoración comparativa de la macrofauna de lombrices en sistemas agroforestales de café orgánico y convencional en contraste con cultivos en pleno sol y bosque, durante la época lluviosa y seca en Turrialba, Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 85 p.
- Virgínio Filho, E. de M. 2019. Impulsando la Adaptación en Fincas Cafetaleras de Cooperativas del Consorcio COOCAFE. Costa Rica. FUNCAFOR-COOCAFE-FUNDECOOPERACIÓN/FONDO DE ADAPTACIÓN. Informe Final Validación de Prácticas e Intercambios. (2019) 126 p.
- Virgínio Filho, E de M; Caicedo, C. 2018. Agroforestería sostenible en la Amazonia ecuatoriana, Proyecto AFAM-CATIE-INIAP: 2014-2015. *In: Agroforestería Sostenible en la Amazonia Ecuatoriana*, N°2: Fragilidad de los suelos en la Amazonia ecuatoriana y potenciales Alternativas agroforestales para el manejo sostenible. Editores (E. de M. Virgínio Filho, C. Astorga, F. Casasola, C. Caicedo) Publicación Miscelánea N° 445, CATIE. (2018) 12-21.
- Virgínio Filho, E de M; Casanoves, F; Rounsard, O; Avelino, J; Hagggar, J. 2018. Promoción, diseño y manejo de sistemas agroforestales con café en tiempos de cambio climático. II Encuentro Nacional Agroforestal, Panajachel, Guatemala, 22 a 24 marzo, 2018.
- Virgínio Filho, E de M; Casanoves, F; Hagggar, J; Staver, C; Soto, G; Avelino, J; Tapia, A; Merlo, M; Salgado, J; Noponen, M; Perdomo, Y; Vásquez, A. 2015. La productividad útil, la materia orgánica y el suelo en los primeros 10 años de edad en los sistemas de producción de café a pleno sol y bajo varios tipos de sombra y niveles de insumos orgánicos y convencionales en Costa Rica. *In Montaginini, F; Somarriba, E; Murgueitio, E; Fassola, H; Eibl, B. Sistemas agroforestales: Funciones productivas, socioeconómicas y ambientales.* Cali, Colombia, CIPAV; Turrialba, Costa Rica, CATIE. (Serie técnica. Informe técnico n° 402). p. 130-151 p.
- Virgínio Filho, E de M; Astorga, C. 2015 Prevención y control de la roya del café: manual de buenas prácticas para técnicos y facilitadores. Turrialba, Costa Rica, CATIE. (Serie técnica. Manual técnico, n° 131). 96 p.
- Virgínio Filho, E de M; Petermann, E. 2007. Plan piloto para la implementación interinstitucional de capacitación aplicada participativa para el mejoramiento de la producción sostenible de café de Bolivia. Informe Final. CATIE-COOPERACIÓN TÉCNICA BELGA-DED-FECAFE. 71 p.
- Virgínio Filho, E de M. 2004. Investigación aplicada y participativa en el manejo integrado de la caficultura bajo énfasis de diversificación y producción de cafés especiales: experiencia piloto de colaboración horizontal. Turrialba, Costa Rica y Tuma, La Dalia, Nicaragua. Informe técnico final. CATIE-DAAF-ICAFE-APOT-ADDAC-FINNIDA. (2004) 11 p.
- Virgínio Filho, E de M; Hagggar, JP; Staver, CP. 2002. Avances y desafíos en el establecimiento de ensayo de largo plazo en sistemas agroforestales en café zona baja húmeda, Turrialba, Costa Rica. *In memorias II Encuentro de Investigadores en Producción Orgánica*, CATIE, Turrialba, 12 y 13 de marzo, 2002.

Artículo invitado

Monitoreo de servicios ecosistémicos en un observatorio de cafetales agroforestales. Recomendaciones para el sector cafetalero*

Olivier Roupsard, Clémentine Allinne, Karel Van den Meersche, Philippe Vaast, Bruno Rapidel, Jacques Avelino, Christophe Jourdan, Gueric Le Maire, Jean-Marc Bonnefond, Jean-Michel Harmand, Jean Dautat, Alain Albrecht, Tiphaine Chevallier, Bernard Barthès, Anne Clément-Vidal, Federico Gómez-Delgado, Fabien Charbonnier, Laura Benegas, Kristen Welsh, Rintaro Kinoshita, Rémi Vézy, Junior Pastor Pérez-Molina, John Kim, Simon Taugourdeau, Elsa Defrenet, Jérôme Nespoulous, Florian Rançon, Florian Guidat, Aurélie Cambou, Maxime Soma, Carolin Mages, Florian Schnabel, Iván Prieto, Delphine Picart, Maxime Duthoit, Alain Rocheteau, Frédéric Do, Elias de Melo Virginio Filho, Rachida Moussa, Yves Le Bissonnais, Christian Valentin, Ricardo Sánchez-Murillo, Catherine Roumet, Alexia Stokes, Lee Vierling, Jan Eitel, Erwin Dreyer, Laurent Saint-André, Anders Malmer, Denis Loustau, Marney Isaac, Adam Martin, Anders Priemé, Bo Eberling, Mikael Madsen, Alfonso Robelo, Diego Robelo, Carlo Borgonovo, Peter Lehner, Guillermo Ramírez, Manuel Jara, Rafael Acuña Vargas, Alejandra Barquero, Carlos Fonseca, Frédéric Gay¹

RESUMEN

Ocho años de estudio de la ecofisiología del café, a través de experimentación y de modelación y el monitoreo de los servicios del ecosistema (SE) en una gran finca cafetalera en Costa Rica, revelaron varias recomendaciones prácticas para los agricultores y los formuladores de políticas. El sistema de cultivo estudiado dentro de nuestro observatorio colaborativo (Coffee-Flux), corresponde a un sistema agroforestal (SAF) a base de café bajo la sombra de grandes árboles de *Erythrina poeppigiana* (16% de la cubierta del dosel). Una gran cantidad de SE y limitantes dependen de las propiedades locales del suelo (en este caso Andisoles), especialmente de la erosión/infiltración, el agua/carbono y la capacidad de almacenamiento de nutrientes. Por lo tanto, para la evaluación de SE, el tipo de suelo es crucial. Una densidad adecuada de árboles de sombra (bastante baja aquí por la condición de libre crecimiento), redujo la severidad de las enfermedades de las hojas con la posibilidad de reducir el uso de plaguicidas y fungicidas. Un inventario simple del área basal en el collar de las plantas de café permitió estimar la biomasa subterránea y la edad promedio de

la plantación, para juzgar su valor de mercado y decidir cuándo reemplazarla. Las fincas de café probablemente estén mucho más cerca de la neutralidad de C que lo indicado en el protocolo actual de C-neutralidad, que solo considera árboles de sombra, no los cafetos ni el suelo. Se proponen evaluaciones más completas, que incluyen árboles, café, hojarasca, suelo y raíces en el balance C del SAF. Los árboles de sombra ofrecen muchos SE si se gestionan adecuadamente en el contexto local. En comparación con las condiciones a pleno sol, los árboles de sombra pueden (i) reducir la erosión laminar en un factor de 2; (ii) aumentar la fijación de N y el % de N reciclado en el sistema, reduciendo así los requisitos de fertilizantes; (iii) reducir la severidad de enfermedades de las hojas; (iv) aumentar el secuestro de C; (v) mejorar el microclima y (vi) reducir sustancialmente los efectos del cambio climático. En nuestro estudio de caso, no se encontró ningún efecto negativo sobre el rendimiento del café.

Palabras clave: beneficios de la sombra, cafetales C-neutrales, fijación de nitrógeno.

* Artículo estructurado a partir de la traducción del francés del capítulo 2 “Suivi des services écosystémiques dans un observatoire de caféiers agroforestiers. Recommandations pour la filière du café”, del libro “Agroforesterie et services Écosystémiques en zone tropicale” coordinado por Josiane Seghier y Jean-Michel Harmand, Éditions Quae, 2019.

¹ Las afiliaciones de los autores se encuentran al final de este artículo (página 163)

ABSTRACT

Eight years of studying coffee ecophysiology and monitoring ecosystem services (ES) in a large coffee farm in Costa Rica revealed several practical recommendations for farmers and policy makers. The cropping system studied within our collaborative observatory (Coffee-Flux) corresponds to a coffee-based agroforestry system (AFS) under the shade of large trees of *Erythrina poeppigiana* (16 % of canopy cover). A lot of ES and disservices depend on local soil properties (here Andisols), especially erosion/infiltration, water/carbon and nutrient storage capacity. Therefore, for ES assessment, the type of soil is crucial. An adequate density of shade trees (rather low here) reduced the severity of leaf diseases with the prospect of reducing pesticide and fungicide use. A simple inventory of the basal area at collar of the coffee plants allowed estimating the belowground biomass and the average age of the plantation, to judge of its market value and to decide when to

replace it. Coffee farms are probably much closer to C neutrality than predicted by the current C-Neutral protocol, which only considers shade trees. More comprehensive assessments, including trees, coffee, litter, soil, and roots in the C balance of the AFS are proposed. Shade trees offer many ES if they are adequately managed in the local context. As compared to full sun conditions, shade trees may (i) reduce laminar erosion by a factor of 2, (ii) increase N fixation and the % of N recycled into the system, thus reducing fertilizer requirements, (iii) reduce the severity of leaf diseases, (iv) increase C sequestration, (v) improve the microclimate, and (vi) substantially reduce the effects of climate change. In our case study, no negative effect on coffee yield was found.

Keywords: shade benefits, C-neutral coffee plantations, nitrogen fixation.

INTRODUCCIÓN

El café es un cultivo perenne tropical que se cultiva en alrededor de 80 países. El consumo mundial de café supera los 9 millones de toneladas, de las cuales alrededor del 65% proviene de *Coffea arabica* L. Se estima que toda la cadena de valor del café (desde el cultivo hasta la comercialización), involucra a alrededor de 100 millones de personas en el mundo. Hoy, las normas Nama-Café² y C-Neutral³ promueven métodos de cultivo que ayudan a mitigar y adaptarse al cambio climático. Cada año se publica mucha investigación exitosa sobre el café, pero no ha habido un observatorio colaborativo en fincas de productores ni en el mismo sitio, con enfoques multidisciplinarios y verticales (misma unidad de lugar y tiempo). Dicho observatorio ofrece la posibilidad de vincular varias disciplinas de investigación y tener una visión general a largo plazo de la ecofisiología del café en condiciones reales.

MATERIALES Y MÉTODOS

En 2009, Centro de cooperación internacional en investigación agronómica para el desarrollo (CIRAD, por sus siglas en francés), el Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE) y la finca Aquiares⁴ crearon su observatorio colaborativo a largo plazo “Coffee-Flux”⁵ para el estudio biofísico del sistema agroforestal del café (Figura 1). La finca de Aquiares está ubicada en la cuenca del río Reventazón, en la región del Caribe Central de Costa Rica, en las coordenadas 9°56'17" (Norte) y 83°43'41" (Oeste), en la ladera del volcán Turrialba. Con certificación de carbono neutral y Rainforest AllianceTM⁶, es una de las fincas más grandes de Costa Rica (6,6 km²). La parcela

principal donde se instalaron los instrumentos claves de medición (torre de flujo, venturi) está a una altitud de 1000 m, en una cuenca hidrográfica de 1 km².

El objetivo de Coffee-Flux es evaluar los flujos de carbono, agua, nutrientes, N₂O y erosión, así como cuantificar los servicios del ecosistema, desde la planta hasta la cuenca o la finca. Se combinan observación, experimentación, modelación y teledetección. Los datos se recopilan (Figura 2) y los modelos se calibran localmente, desde la planta hasta la parcela (ha) antes de cambiar la escala (cuenca, finca). El observatorio ha sido monitoreado desde 2009 con el fin de comprender las fluctuaciones estacionales e interanuales en la productividad del café y los servicios de los ecosistemas asociados. El observatorio Coffee-Flux ha recibido apoyo continuo de varias instituciones y proyectos, incluido el proyecto SAFSE (Compromiso entre la producción y otros servicios ecosistémicos proporcionados por los sistemas agroforestales, CIRAD/Instituto de Investigación para el Desarrollo-IRD, por sus siglas en francés).

La filosofía es concentrar varias investigaciones en un sitio específico y durante varios años, compartir una base de datos experimental común, desarrollar modelos y publicar resultados en revistas científicas de alto rango. Esta investigación colaborativa fue posible gracias a las interacciones positivas entre varias instituciones (Isaac *et al.* 2017, Kim *et al.* 2017, Martin *et al.* 2017, Prieto *et al.* 2015, Sánchez-Murillo *et al.* 2016). La investigación aplicada también ha sido fuertemente promovida (Roupsard *et al.* 2017) en agronomía, en la selección de variedades, para certificaciones C-Neutral

2 <https://www.namacafe.org/>

3 Certificación C-neutral Costa Rica: <https://presidencia.go.cr/comunicados/2016/09/meta-de-carbononeutralidad-para-el-2021-se-mantiene-y-fortalece/>

4 Cafetalera Aquiares: http://auction.stoneworks.com/includes/crq2004/aquiares_brochure.html

5 Observatorio Coffee-Flux: <http://www.umr-ecosols.fr/index.php/fr/recherche/projets/53-coffee-flux>

6 Rainforest-AllianceTM: <https://www.rainforest-alliance.org/>



Figura 1. El observatorio colaborativo CoffeeFlux en la finca de Aquiras: cafetos bajo árboles de poró (*Erythrina*) grandes, Turrialba, Costa Rica

y NAMA (Virginio Filho *et al.* 2015, Roupsard 2015). Coffee-Flux se beneficia de la infraestructura del CATIE, fácil acceso al campo y buena seguridad. La base de datos (disponible en R) acelera el intercambio de información.

Nuestro objetivo aquí es presentar los principales logros de Coffee-Flux después de ocho años de monitoreo y modelación, destacando el interés práctico para los productores de café y los tomadores de decisiones. Nos centraremos en reservas de carbono en el suelo; hidrología; erosión, fertilización, sombra y rendimiento; fertilización y flujos de N_2O ; la severidad del complejo de la enfermedad de la hoja y la sombra; índice de hojas y rendimiento de café; las raíces; los efectos del sombreado en la productividad primaria de la planta de café y en su eficiencia en el uso de la luz; el balance de carbono del ecosistema; árboles de sombra y su adaptación al cambio climático.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Algunas aplicaciones prácticas de Coffee-Flux Stock de carbono muy alto y gran variabilidad horizontal en Andisoles

La mayoría de los suelos de los cafetales en la región estudiada son Andisoles, o sus versiones más avanzadas (Ultisoles). Los primeros provienen de cenizas volcánicas depositadas regularmente, en este caso,

por el volcán Turrialba. Estas cenizas evolucionan en alófanos que luego con el tiempo se convierten en arcillas para que finalmente los Andisoles se conviertan en Ultisoles.

Los Andisoles son suelos jóvenes ricos en alófanos (hasta 20%). Cuantos más alófanos hay, más fuertes son sus propiedades ándicas. Los alófanos tienen una estructura nanométrica con una superficie muy grande. Pueden atrapar mucha agua, carbono y minerales como el fósforo. Los contaminantes probablemente también se acumulan en estos suelos. El porcentaje de alófanos está altamente correlacionado con las reservas de carbono del suelo. Estas reservas son altas, del orden de 560 ± 180 t C/ha o 56 ± 18 kg C/m² entre 0 y 2 m (Chevallier *et al.* 2019), un orden de magnitud diez veces mayor que la biomasa aérea y subterránea evaluado en 37 t C/ha (Charbonnier *et al.* 2017; Defrenet *et al.* 2016).

Con el tiempo, los alófanos se lixivian y se transforman en una secuencia de arcillas cuyo contenido de carbono puede ser extremadamente variable a escala de finca (Kinoshita *et al.* 2016), como lo revela la espectrometría infrarroja. Dado que el porcentaje de alófanos (o la proporción de alófanos/arcillas) es el principal determinante de la variabilidad espacial de las reservas de carbono del suelo, debe entenderse antes de evaluar las reservas de este mineral en suelos de fincas o entre fincas.

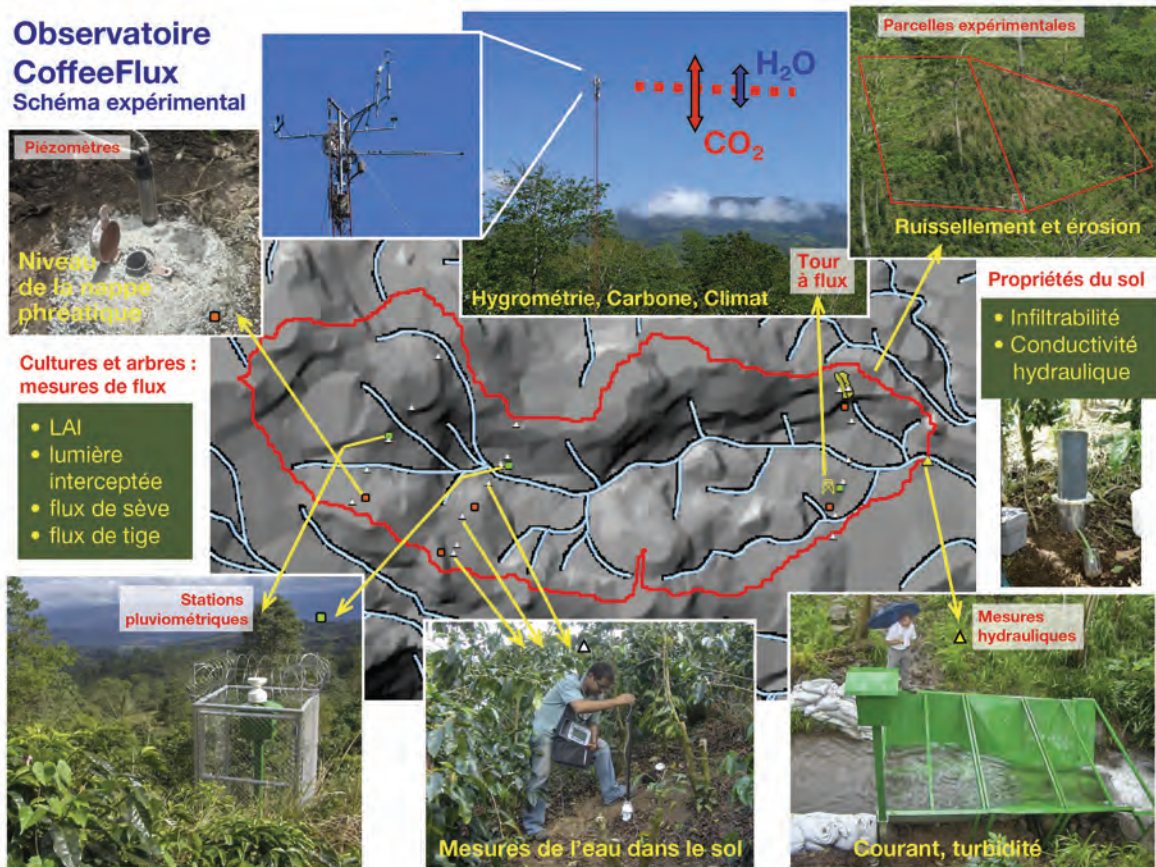


Figura 2. Dispositivo experimental de observación colaborativa de CoffeeFlux en la finca de Aquiares: medidas y modificaciones del flujo de C, H₂O, nutrientes, de la erosión y servicios ecosistémicos en un sistema agroforestal de café, Turrialba, Costa Rica

Aplicaciones prácticas

Dependiendo de la relación alófono/arcilla, los requisitos de fertilización podrían ser muy diferentes, incluso dentro de áreas pequeñas aparentemente homogéneas. Proporcionar mapas detallados de Andisoles agrícolas permitiría a los agricultores ahorrar fertilizantes y minimizar su impacto en el suelo y el agua. La espectrometría infrarroja es una herramienta prometedora para la detección de suelos de alto rendimiento.

Alta infiltrabilidad de Andisoles, el equilibrio hidrológico está controlado por el acuífero

Las parcelas de café de Aquiares, establecidas en Andisoles, infiltran aproximadamente el 92% de la lluvia (Gómez-Delgado *et al.* 2011). La escorrentía superficial dentro de las parcelas es, por lo tanto, muy baja, siendo su contribución al flujo del río de sólo un 4%. Los Andisoles son una “esponja” con un alto contenido de agua permitido por los alófanos, una alta macroporosidad, un fuerte drenaje profundo y una infiltración muy alta (>1000

mm/hora) (Benegas *et al.* 2014; Hasselquist *et al.* 2018). El flujo del río depende principalmente de los acuíferos (56%) (Gómez-Delgado *et al.* 2011), en particular a través de fuentes (Welsh *et al.* 2018).

Aplicaciones prácticas

El manejo sin labranza de plantaciones de café establecidas en Andisoles, parece beneficiar al acuífero. Sin embargo, debido a una infiltración significativa, es probable que sustancias contaminantes pasen a través del acuífero. Se recomienda controlar el nivel y la calidad de los acuíferos en tales suelos, especialmente en áreas más secas donde es probable que haya efectos de concentración.

Efecto predominante del tipo de suelo en la erosión, en comparación con la presencia de árboles de sombra

Los Andisoles exhiben baja erosión laminar, consistente con la baja escorrentía superficial medida. La producción de sedimentos en la cuenca es muy baja (alrededor de 1 t/ha/año). Muy poco sedimento (alrededor del 5%) proviene de las propias parcelas de café. Dos tercios

del sedimento proviene del lecho del río; el resto (aproximadamente 1/3) proviene de caminos y callejones ubicados entre las parcelas de café. La escorrentía es, de hecho, alta en las carreteras, causando erosión en los bordes de las parcelas. Por lo tanto, la erosión no debe considerarse a escala de parcela, sino a escala de finca con su infraestructura, o a escala de cuenca (Gómez-Delgado 2010). Sin embargo, los árboles de sombra mitigan la escorrentía y la erosión en un factor de casi dos en comparación con las parcelas a pleno sol.

Aplicaciones prácticas

La baja erosión laminar en las parcelas sobre Andisoles y el papel importante de las carreteras y los bordes de la parcela en la producción de sedimentos, lleva a recomendar la construcción de tuberías de hormigón a lo largo de los caminos para desviar la escorrentía a las parcelas donde puede infiltrarse. También es necesario proteger las orillas de los ríos como prioridad. Cualquiera sea el contexto pedológico de la finca, recomendamos realizar un estudio hidrológico rápido antes de elegir las mejores medidas contra la erosión (Gómez-Delgado 2010).

Fertilización, sombra y rendimiento

De acuerdo con los resultados preliminares, la cantidad de nitrógeno reciclado por el ecosistema es mayor a la sombra que a la luz solar directa. Los árboles de sombra estudiados aquí son poró; la tasa de reciclaje es mayor si estos árboles se podan regularmente (alrededor de 150 a 300 kg de N reciclado/ha/año) que si crecen libremente (<70 kg de N reciclado/ha/año). Cinco meses después de la poda del poró, más del 40% del nitrógeno de los residuos de la poda permanece en la hojarasca y el suelo y el 23% en los cafetos. Además, la poda parece ser la ruta esencial de la transferencia de nitrógeno del poró al café.

Bajo sombra y en Andisoles, observamos que el suelo puede dejarse sin fertilización durante aproximadamente cinco años sin una caída en el rendimiento del café, según se observó al manipular los aportes de fertilizante (0, 110 o 230 kg N/ha/año). El nitrógeno total del suelo no se vio afectado en el tratamiento de baja fertilidad, mientras que el nitrógeno mineral disminuyó en un factor de tres en el tratamiento de baja fertilización en comparación con el tratamiento de alta fertilización. La producción alterna del rendimiento (fuerte-débil) durante dos años, o bienalmente, es mayor a pleno sol (Schnabel *et al.* 2018).

Aplicaciones prácticas

La gran capacidad de almacenamiento de nitrógeno de los Andisoles permite mantener buenos rendimientos de café durante varios años, a pesar de la reducción de los aportes de fertilizantes (aquí la mitad del nivel actual de 200 kg/ha), o incluso de cero insumos. Esta información es útil cuando las condiciones económicas del productor son desfavorables en el contexto de los precios fluctuantes del café. A largo plazo, se debe ampliar los estudios de optimización de la aplicación de fertilizantes por razones de rentabilidad económica e impacto ambiental. Sin embargo, los requerimientos de fertilizantes dependen mucho del tipo de suelo. La amplia variabilidad de los suelos en la escala de la finca podría fomentar la agricultura de precisión, que consiste en ajustar la fertilización a las condiciones micro-locales, a fin de reducir el gasto total y la contaminación del agua con nitratos.

Fertilización y flujo de N₂O desde el suelo

Van den Meersche y colaboradores, midieron los flujos de N₂O desde el suelo en las parcelas de pleno sol durante un año utilizando cámaras dinámicas (mediciones continuas). Las parcelas probadas recibieron aportes de nitrógeno contrastantes (0 vs 230 kg N/ha/año), desde cuatro años antes de la medición. En las parcelas no fertilizadas, los flujos de N₂O permanecieron bajos, alrededor de 1 g de N-N₂O/ha/día. En las parcelas fertilizadas, los flujos aumentaron considerablemente: de 1 g de N-N₂O/ha/día durante la estación seca, a 2-3 g de N-N₂O/ha/día durante la estación húmeda. El valor máximo de 15 g de N-N₂O/ha/día fue alcanzado inmediatamente después de la aplicación de fertilizante con un pico estrechamente relacionado con los eventos de lluvia y con una duración de hasta dos meses. Sin embargo, menos del 1% del nitrógeno suministrado por el fertilizante se liberó como N₂O. Después de la lluvia, las altas tasas de infiltración eliminan los nitratos y conducen a una reducción de las condiciones *redox*. Por lo tanto, es más probable que el nitrógeno (N) sea eliminado del sistema del suelo que liberado como N₂O a la atmósfera.

Aplicaciones prácticas

Medimos las emisiones de N₂O significativamente más bajas que las calculadas a partir de los valores estándar del IPCC* (protocolo estándar C-neutral). Además, la optimización del suministro de fertilizantes, con cantidades más bajas y frecuencias de alimentación más altas, ayudaría aún más a reducir las emisiones de N₂O y reduciría significativamente la lixiviación potencial de nitratos.

* Panel intergubernamental de expertos en cambio climático: <https://www.ipcc.ch/>

El sombreado adecuado mitiga el complejo de las enfermedades en la hoja sin afectar el rendimiento

Allinne y colaboradores, establecieron un estudio factorial con dos niveles de exposición (sombreado vs pleno sol) y dos niveles de protección fitosanitaria (convencional vs protección máxima), en el que se midió la severidad (% del área foliar afectada) de cinco enfermedades foliares: *Mycena citricolor* (ojo de gallo o mancha foliar americana), *Hemileia vastatrix* (roya), *Cercospora coffeicola* (cercosporiose, mancha de hierro), *Leucoptera coffeella* (minador) y *Phoma costaricensis* (phoma). El experimento duró tres años (2012-2014), incluida la histórica epidemia regional de roya de 2012.

La máxima protección ha reducido significativamente el impacto de las enfermedades. Cualquiera que sea el año, la exposición a la sombra o al sol no tuvo ningún efecto sobre los impactos de la roya o el minador de hoja (*L. coffeella*). Por otro lado, el sombreado redujo el impacto de la cercosporiosis (mancha de hierro), pero agravó el de ojo de gallo. En general, cuando tenemos en cuenta los efectos acumulativos de todas las enfermedades y plagas de las hojas, el sombreado redujo significativamente la severidad del complejo patológico y de plagas en un 10 a 20%. La sombra redujo tanto la carga de frutos de los cafetos, como las pérdidas de rendimiento debido a enfermedades, lo que finalmente compensó la producción. Un buen rendimiento preservado con demandas reducidas de plaguicidas-fungicidas indica la importancia de los árboles de sombra en el cultivo de café.

Aplicaciones prácticas

Si consideramos todo el complejo de bioagresores foliares del café, la sombra reduce la gravedad entre 10 a 20% sin afectar el rendimiento. La sombra adecuada puede reducir la necesidad de plaguicidas-fungicidas y mejorar la rentabilidad del cultivo de café.

El índice de área foliar de café (LAI), un indicador de servicios ecosistémicos

Se realizó una reconstrucción de la serie temporal de LAI (2001-2011) gracias a dos calibraciones sucesivas:

- La calibración del índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI, por sus siglas en inglés), proveniente de una imagen satelital de alta resolución a través del LAI verdadero medido en el suelo en cada una de las capas (árboles de sombra y cafetos).

- La calibración NDVI obtenida de imágenes de Moderate resolution imaging espectralradiómetro (MODIS) (Le Maire *et al.* 2014; Taugourdeau *et al.* 2014) con la imagen calibrada de alta resolución.

El LAI del café varía estacionalmente entre 2,4 y 4,4 m² de hoja/m² de suelo con un máximo hacia el final de la estación húmeda, una fuerte disminución durante la estación seca, un mínimo después de la poda anual del café, una recuperación durante la próxima temporada de lluvias y un segundo mínimo durante el período de llenado de granos. Con MODIS, también hemos detectado variaciones interanuales significativas en LAI a partir de la poda anual o la renovación de parcelas. El LAI promedio de los árboles de sombra (poró), es de 0,67 m² de hoja/m² de suelo por año.

Correlacionamos la serie temporal del LAI del café con los registros agrícolas para examinar el impacto del manejo de parcelas en este índice y en ciertos servicios del ecosistema, en particular el rendimiento y la escorrentía superficial. La fertilización nitrogenada, que es ajustada anualmente por el agricultor, sigue siendo el mejor predictor de rendimiento. Pero al combinar la fertilización nitrogenada con LAI seis meses al año, la predicción mejora. LAI es, por lo tanto, un predictor importante de rendimiento. Este modelo puede usarse para mapear rendimientos regionales y para la reconstrucción de series temporales de rendimientos pasados.

El índice de área foliar también se ha utilizado en la modelización de servicios hidrológicos. Cuando se duplica de 3,8 a 7,6, la evapotranspiración aumenta en 60%, la escorrentía superficial disminuye en 1%, el flujo del río se reduce en 17% y la cantidad de agua que fluye a través del acuífero se reduce en 20% (Taugourdeau *et al.* 2014).

Aplicaciones prácticas

El LAI es un indicador de desempeño a nivel de finca, pero también a nivel regional. La teledetección LAI también funciona para evaluar las pérdidas de rendimiento asociadas con las pérdidas de follaje. Esta es una técnica muy prometedora para rastrear la roya y el ojo de gallo. Podría recomendarse en programas de alerta que se han desarrollado mucho recientemente, luego del histórico ataque de la roya del 2012. LAI también se puede usar para simular servicios hidrológicos.

Las raíces del cafeto representan el 50% de la biomasa

Las raíces del café crecen hasta 4 m de profundidad. La biomasa subterránea de este cultivo se puede estimar alométricamente.

Estimamos la biomasa y la productividad primaria neta (NPP) de la parcela (tanto de café como de los árboles de sombra de poró), teniendo en cuenta las raíces profundas y la posición de los cafetos en relación con los árboles. Se evaluó el crecimiento del tronco y las raíces, así como la biomasa, la renovación y la descomposición de las raíces. Los anillos de crecimiento se estudiaron en la base del tronco en rangos de tamaños de plantas de café. La biomasa de la raíz y la densidad de las raíces finas se midieron en zanjas a una profundidad de 4 m. La renovación de las raíces finas se midió mediante la extracción secuencial del suelo a lo largo de 0-30 cm para tener en cuenta la heterogeneidad del subsuelo agroforestal. Esto se realizó durante un año y en diferentes lugares (a pleno sol o debajo de los árboles, en la fila y entre filas de café) (Defrenet *et al.* 2016).

Se han propuesto relaciones alométricas para calcular la biomasa y la productividad primaria neta de las partes perennes a escala de parcela. Las relaciones lineales entre el área basal en el collar y la biomasa de los compartimentos perennes (tallos, raíces gruesas, etc.), facilitan la estimación del *stock* de carbono en la biomasa de los cafetales.

El radio en el cuello del tronco aumenta a 2,5 mm/año (estabilizado entre 12 y 44 años). El 92% de la biomasa de la raíz del cafeto se encuentra a una profundidad de 1,5 m, y solo el 8% hasta 4 m. La biomasa de las raíces perennes es de 16 t/ha y su productividad primaria neta de 1,3 t/ha/año. La biomasa de las raíces finas (a una profundidad de 0 a 30 cm), es el doble en el surco que entre surcos. La biomasa de las raíces finas es de 2,29 t/ha, o el 12% de la biomasa total de raíces. Su productividad primaria neta es 2,96 t/ha/año, ó 69% de la productividad primaria neta total de la raíz. La tasa de renovación de raíces finas es 1,3 veces/año.

El sistema de raíces de los cafetos representa el 49% de la biomasa vegetal total. Tal proporción puede ser consecuencia de la poda. Los árboles de sombra no tienen un efecto significativo sobre la biomasa de las raíces finas del cafeto, lo que sugiere que el sistema de raíces del cafeto es muy competitivo en la capa superficial del suelo (Defrenet *et al.* 2016).

Los anillos de crecimiento son anuales para cafetos en zonas húmedas sin interrupciones de crecimiento. El estudio de estos anillos de crecimiento, combinado con el inventario de la distribución del área en el collar, permite calcular la edad promedio de una parcela completa (Defrenet *et al.* 2016).

Aplicaciones prácticas

Las ecuaciones alométricas basadas en el diámetro en la base del cafeto facilitan la estimación de su biomasa subterránea y, por lo tanto, su reserva de carbono en la biomasa subterránea. Caracterizar la edad promedio de la parcela tomando en cuenta los cafetos que han sido remplazados, como se propone aquí, podría ser muy útil para estimar el vigor y la productividad de una parcela, o para normalizar las comparaciones que generalmente se hacen entre plantaciones, o incluso para evaluar el valor de una plantación dada en el mercado. Esta edad promedio también podría usarse para determinar el momento óptimo para aplicar la renovación.

Los árboles de sombra aumentan la eficiencia del uso de la luz del cafeto, lo que compensa las pérdidas en la productividad primaria neta

Los árboles de sombra de los sistemas agroforestales afectan la distribución de la luz (Charbonnier *et al.* 2013). Nuestras observaciones de campo y el modelado 3D, muestran que la luz debajo de los árboles es muy variable y modifica la fisiología del cultivo intercalado (Charbonnier *et al.* 2017). La reducción de la radiación fotosintéticamente activa absorbida (APAR) se compensa, en cierta medida, por un aumento en la eficiencia del uso de la luz (LUE). La diferencia en la productividad primaria neta del café entre sombra y pleno sol se reduce así. Debido a la gran heterogeneidad espacial de los sistemas agroforestales y la falta de herramientas apropiadas, los efectos combinados de estas variables rara vez se habían analizado. Sin embargo, su estudio permite comprender los procesos fisiológicos subyacentes a la dinámica de los rendimientos (Charbonnier *et al.* 2017). En este estudio, la productividad primaria neta (NPP) en la escala de café y parcela se midió durante dos años. La radiación absorbida se ha mapeado con un modelo 3D (MAESPA): el 35% de la luz disponible sobre los cafetos llega al suelo. Esto constituye una pérdida considerable de recursos (Charbonnier *et al.* 2013). No se puede aumentar la densidad de los cafetos debido a enfermedades, pero es posible cubrir el suelo con cultivos útiles. La eficiencia del uso de la luz y la tasa

de asimilación neta se calcularon individualmente para cada cafeto. Aunque la luz disponible se ha reducido en 60% por debajo de las copas de los árboles de sombra, la eficiencia del uso de la luz del cafeto ha aumentado en 50%. La productividad primaria neta y el rendimiento de los cafetos bajo sombra, por lo tanto, se mantuvieron en un nivel alto. Al final del proyecto, se creó una base de datos que combina biomasa y productividad primaria neta de café a pleno sol o sombra. La variabilidad de la productividad primaria neta dentro de la parcela del cafeto, se explica principalmente por la edad de las plantas y por la competencia intraespecífica entre los cafetos en lugar de la presencia de árboles de sombra (Charbonnier *et al.* 2017).

Aplicaciones prácticas

Los modelos de transmisión de luz indican que el 35% de la luz disponible sobre los cafetos termina en el suelo: este importante recurso está infrautilizado y obliga a eliminar las malas hierbas. Sería aconsejable desarrollar plantas de cobertura que fijen N si fuera posible. Sin embargo, en muchas regiones, el temor a la competencia con el cafeto o las serpientes entre los surcos, son un obstáculo para esto.

La compensación de la pérdida de luz bajo los árboles de sombra con una mayor eficiencia en el uso de la luz del cafeto, aumenta la confianza en el uso de árboles de sombra. Los modelos utilizados, como Maespa, permiten calcular la competencia por la luz entre los cafetos, el sombreado más antiguo y el más joven, y calcular u optimizar los impactos de la poda y la densidad de las plantas de café en su productividad.

Gracias a los modelos, la luz absorbida por los cafetos se ha convertido en una variable continua en el espacio y el tiempo. Esto pone fin a la dicotomía sombra/luz utilizada durante mucho tiempo para describir los sistemas agroforestales. Por lo tanto, la luz se puede calcular para cada planta, independientemente de su distancia desde el árbol o su entorno de radiación. La luz absorbida puede mapearse y usarse como una covariable para cualquier otro tipo de estudio agronómico en parcelas agroforestales heterogéneas.

¿Por qué se agota el cafeto después de unos pocos años de producción? El papel del almidón

La poda de los cafetos es una acción crucial porque afecta los rendimientos y la necesidad de mano de obra. Los rebrotes de cafetos, solo son productivos durante tres años de los seis años de vida del mismo, y con altos costos laborales. ¿Por qué un período productivo tan corto?

Estudiamos los efectos de la exposición (sombra o pleno sol) y la madurez (plantas inmaduras de dos años o plantas maduras de cinco años), sobre las concentraciones de carbohidratos no estructurales (NSC), sus reservas en hojas, tallos y las existencias, así como la dinámica del almidón durante la vida de los cafetos. Utilizamos métodos analíticos clásicos y espectroscopía de reflectancia visible e infrarroja cercana (VNIRS) (Cambou *et al.* 2021).

Las variables tróficas vinculadas a la actividad de la fotosíntesis (nitrógeno, glucosa, fructosa, sacarosa), disminuyen desde las hojas, los tallos, y luego hasta la base de la planta. Por otro lado, las variables relacionadas con la estructura y las reservas de la planta (C, C:N y almidón), mostraron la tendencia opuesta, con valores más altos en los órganos de larga vida. Las concentraciones de N, glucosa y fructosa son más altas en los órganos de dos años que en los de cinco años. Esto confirma una mayor relación fuente/sumidero en ausencia de carga frutífera. El efecto de la exposición, pleno sol o sombra, es débil en las variables medidas. La espectroscopía de reflectancia visible e infrarroja cercana (VNIRS) es una herramienta prometedora, rápida y rentable para rastrear la dinámica de los carbohidratos no estructurales, particularmente el almidón.

Nuestros resultados muestran que el rebrote (temporal), se agota a pesar de que su tronco (perenne) acumula almidón. El agotamiento del rebrote proviene de la fuerte competencia entre tres grandes sumideros: los frutos, el crecimiento de los rebrotes y el almacenamiento de almidón en las partes perennes. De hecho, el cafeto es uno de los pocos arbustos cuyos rebrotes se doblan naturalmente antes de ser rechazados. Ilustra la función de “supervivencia” de los carbohidratos no estructurales en las plantas (Cambou *et al.* 2021).

Aplicaciones prácticas

Las variedades de cafetos seleccionados para acumular menos almidón en sus partes perennes, probablemente tendrán una vida útil más larga de sus brotes y, por lo tanto, años más productivos de los mismos. La VNIRS, como técnica de medición de alto rendimiento, permitirá el cribado de estas variedades.

Huella de carbono del ecosistema

¿Los cafetales ya están cerca de la neutralidad de C? Todo depende del método de cálculo.

La finca Aquiares (Costa Rica), ha evaluado sus emisiones de gases de efecto invernadero para la planta de beneficiado, los desechos y los fertilizantes. Las

emisiones anuales de 1100 t CO₂eq se compensaron financieramente, lo que fue necesario para obtener la certificación “C-Neutral” de la finca en 2016. Esta finca puede servir como piloto a nivel nacional y potencialmente a nivel regional para el futuro. Si se usan los factores de emisión del IPCC, un tercio de las emisiones de la finca se deberían a las emisiones de N₂O por el uso de fertilizantes, y así como las emisiones de CH₄ proveniente de la fermentación de la pulpa utilizada como abono.

De acuerdo con las reglas de certificación C-Neutral (escenario 1), solo los árboles de sombra en crecimiento, los bosques en crecimiento y la biomasa de la madera de café utilizada como energía reciclada para secar los granos de café, pueden considerarse sumideros de carbono de la finca. La madera reciclada para secadores, es una energía renovable que compensa gran parte de las emisiones de gases de efecto invernadero, fertilizantes (N₂O) y desechos (CH₄) de la planta de beneficiado. Sin embargo, los cafetos y el suelo permanecen excluidos de los cálculos en este escenario 1. De hecho, el IPCC considera que los cultivos en general son neutrales en el intercambio de gases de efecto invernadero entre el ecosistema y la atmósfera.

¿Qué pasaría si el café y el suelo fueran reevaluados como un sumidero?

El escenario 2 prueba esta hipótesis y considera los cafetos no como un cultivo anual estándar, sino como un árbol pequeño. Por lo tanto, el escenario 2 incluye el almacenamiento de carbono de los cafetales en crecimiento, así como en la hojarasca y el suelo. El balance de carbono se midió mediante la covarianza Eddy de las parcelas agroforestales (árboles + café + hojarasca + suelo) de la finca Aquiares durante ocho años, para un almacenamiento promedio de 3,6 t C/ha/año. De esta cifra, es necesario deducir las exportaciones de fruta y madera para secar el grano (2,75 t C/ha/año), teniendo en cuenta el hecho de que la combustión de madera ya se ha contabilizado como energía renovable en el cálculo de emisiones anuales de 1100 t CO₂eq. En última instancia, el secuestro de carbono en parcelas agroforestales, teniendo en cuenta los cafetos, compensa las emisiones de fábrica+fertilizantes+residuos. Esto indica que la finca es, prácticamente, C-neutral o incluso un sumidero de carbono, si aceptamos incluir cafetos en el cálculo.

Aplicaciones prácticas

La principal diferencia entre el escenario 1 (el protocolo C-neutro estándar) y el escenario 2 es la integración de cafetos, hojarasca y suelos. El escenario 2 es ventajoso para el agricultor que pagaría menos compensación de carbono por sus emisiones porque su finca se acercaría a la neutralidad. Esto también sigue siendo compatible con el objetivo de mejorar la eficiencia de carbono de la finca para cada año sucesivo de certificación. También tendría la ventaja, a nivel de país, de acelerar el proceso de certificación C-neutral para los cafetales y posiblemente crear créditos de carbono para la venta interna o en el extranjero.

Árboles de sombra, una palanca para la adaptación al cambio climático

Hemos estudiado el potencial de la agroforestería para mitigar la temperatura del dosel de los cafetos a través de la experimentación y el modelado en el campo. La apertura del dosel de los árboles de sombra se evaluó mediante fotografía hemisférica sobre cada café.

Medimos las diferencias en las variables microclimáticas entre parcelas a la sombra y aquellas a pleno sol (Soma *et al.* 2017). El sombreado reduce la temperatura máxima del aire en 1,7°C. Las hojas de café a pleno sol han mostrado temperaturas de hasta 5°C más altas que en el ambiente del aire. La reducción de la temperatura diaria promedio de la capa de cafetos sería de -0,5°C para el nivel bajo en la corona a -1,1°C para el nivel alto en la corona.

La modelación permite ajustar el sombreado para los climas actuales y futuros, independientemente de las condiciones de altitud, pendiente, exposición o microclima. Se ha propuesto una estadística simple de interés bastante genérico para predecir la temperatura del dosel del café utilizando la temperatura del aire a pleno sol, la apertura del dosel de los árboles de sombra y la fracción de luz difusa (Soma *et al.* 2017). El modelo agroforestal más sofisticado (MAESPA), permite calcular el balance radiactivo, los flujos de energía, CO₂ y H₂O en parcelas de café complejas y heterogéneas (Vézy *et al.* 2018). Aun más completo, este modelo, conjugado a un modelo de crecimiento y producción incluyendo prácticas como densidad o poda (DynaCof), permite simular varios servicios ecosistémicos en parcelas agroforestales por rotaciones completas (Vézy *et al.* 2020). Y más allá, estos sistemas se pueden comprobar bajo escenarios de cambio climático (Vézy *et al.* 2019).

Aplicaciones prácticas

Confirmamos que la agrosilvicultura es una opción interesante para mitigar los efectos del aumento de la temperatura en el rendimiento, además de otras alternativas como la selección de variedades mejoradas. Las herramientas de modelado ayudarán a ajustar el sombreado a las condiciones locales (altitud, pendiente, exposición y radiación).

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Los resultados interdisciplinarios a largo plazo de una finca de café en tiempo real, muestran que el manejo de los cafetos puede ser más eficiente a futuro en función del flujo de la energía, el agua, los nutrientes y los servicios del ecosistema en general. Se recomienda un mejor acoplamiento entre la investigación, la extensión, los proyectos de desarrollo y la experiencia de los agricultores para guiar la inversión, en aras de la rentabilidad económica y el uso adecuado del medio ambiente. Debido a sus muchas virtudes resaltadas en este estudio, se recomienda mantener una sombra adecuada sobre el cultivo de café, con un ajuste a nivel de finca o incluso de condición del terreno. El modelado puede respaldar este manejo.

Se recomienda que los proyectos de desarrollo no se basen únicamente en reglas generales, sino que dediquen parte de su presupuesto a la verificación local de estas reglas. Una inversión mínima en conocimientos científicos al comienzo y al final de los proyectos debería mejorar su impacto.

AGRADECIMIENTOS

Nuestro estudio es parte del observatorio Coffee-Flux, desarrollado por CIRAD, CATIE y Cafetalera Aquiares. El sitio Coffee-Flux pertenece a la red de observatorios SOERE F-ORE-T, que cuenta con el respaldo anual de Ecofor, Allenvi y la infraestructura nacional de investigación ANAEE-F (<http://www.anaee-france.fr/fr/>). Coffee-Flux fue apoyado por el proyecto europeo Cafnet (EuropAid / 121 998 / C / G), el proyecto Ecosfix (ANR-2010-STRA-003-01), el proyecto Safse (Cirad/IRD) y el proyecto Macacc (ANR-13-Agro-0005). Estamos en deuda con la familia Barquero y con Alexis Pérez por su asistencia en el campo y Patricia Leandro por el uso de las instalaciones de laboratorio de suelos del CATIE.

BIBLIOGRAFÍA

- Benegas, L; Ilstedt, U; Roupsard, O; Jones, J; Malmer, A. 2014. Effects of trees on infiltrability and preferential flow in two contrasting agroecosystems in Central America. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 183:185-196.
- Cambou, A; Thaler, P; Clement-Vidal, A; Barthès, B; Charbonnier, F; Van den Meersche, K; Aguilar, MH., Avelino, J; Davrieux, F; Labouisse, JP; De Melo Virginio Filho, E; Deleporte, P; Brunet, D; Lehner, P; Roupsard, O; 2021. Concurrent starch accumulation in stump and high fruit production in coffee (*Coffea arabica*). *Tree Physiology*. Final corrections submitted for Major Revisions, April 2021.
- Charbonnier F; Le Maire G; Dreyer E; Casanoves F; Christina M; Dauzat J; Eitel J.U.H; Vaast P; Vierling L.A; Roupsard O. 2013. Competition for light in heterogeneous canopies: Application of MAESTRA to a coffee (*Coffea arabica* L.) agroforestry system. *Agricultural and Forest Meteorology* 181:152-169.
- Charbonnier, F; Roupsard, O; Le Maire, G; Guillemot, J; Casanoves, F; Lacoite, A; Vaast, P; Allinne, C; Audebert, L; Cambou, A; Clement-Vidal, A; Defrenet, E; Duursma, RA; Jarri, L; Jourdan, C; Khac, E; Leandro, P; Medlyn, BE; Saint-Andre, L; Thaler, P; Van Den Meersche, K; Aguilar, AB; Lehner, P; Dreyer, E. 2017. Increased light-use efficiency sustains net primary productivity of shaded coffee plants in agroforestry system. *Plant Cell and Environment* 40(8):1592-1608.
- Chevallier, T; Fujisaki, K; Roupsard, O; Guidat, F; Kinoshita, R; Viginio, ED; Lehner, P; Alain, A. 2019. Short-range-order minerals as powerful factors explaining deep soil organic carbon stock distribution: the case of a coffee agroforestry plantation on Andosols in Costa Rica. *Soil* 5:315-332.
- Defrenet, E; Roupsard, O; Van Den Meersche, K; Charbonnier, F; Pastor Pérez-Molina, J; Khac, E; Prieto, I; Stokes, A; Roumet, C; Rapidel, B; De Melo Virginio Filho, E; Vargas, VJ; Robelo, D; Barquero, A; Jourdan, C. 2016. Root biomass, turnover and net primary productivity of a coffee agroforestry system in Costa Rica: effects of soil depth, shade trees, distance to row and coffee age. *Annals of Botany* 118(4):833-851.
- Gómez-Delgado, F. 2010. Hydrological, ecophysiological and sediment processes in a coffee agroforestry basin: combining experimental and modelling methods to assess hydrological environmental services. Thèse de doctorat. Montpellier, France, SupAgro; École doctorale Systèmes intégrés en biologie, agronomie, géosciences, hydrosciences, environnement. 254 p.
- Gómez-Delgado, F; Roupsard, O; Le Maire, G; Taugourdeau, S; Pérez, A; Van Oijen, M; Vaast, P; Rapidel, B; Harmand, J-M; Voltz, M; Bonnefond, J-M; Imbach, P; Moussa R. 2011. Modelling the hydrological behaviour of a coffee agroforestry basin in Costa Rica. *Hydrology and Earth System Sciences* 15:369-392.
- Hasselquist, NJ; Benegas, L; Roupsard, O; Malmer, A; Ilstedt U. 2018. Canopy cover effects on local soil water dynamics in a tropical agroforestry system: Evaporation drives soil water isotopic enrichment. *Hydrological Processes* 32(8):994-1004.
- Isaac, ME; Martin, AR; de Melo Virginio Filho, E; Rapidel, B; Roupsard, O; Van den Meersche, K. 2017. Intraspecific trait variation and coordination: root and leaf economics spectra in coffee across environmental gradients. *Frontiers Plant Science* 8:1196.

- Kim, JH; Fourcaud, T; Jourdan, C; Maeght, JL; Mao, Z; Metayer, J; Meylan, L; Pierret, A; Rapidel, B; Rouspard, O; de Rouw, A; Sánchez, MV; Wang, Y; Stokes A. 2017. Vegetation as a driver of temporal variations in slope stability: The impact of hydrological processes. *Geophysical Research Letters* 44(10):4897-4907.
- Kinoshita, R; Rouspard, O; Chevallier, T; Albrecht, A; Taugourdeau, S; Ahmed, Z; Van Es, HM. 2016. Large topsoil organic carbon variability is controlled by Andisol properties and effectively assessed by VNIR spectroscopy in a coffee agroforestry system of Costa Rica. *Geoderma* 262:254-265.
- Le Maire, G; Raçon, F; Charbonnier, F; Rouspard, O. 2014. Characterizing the structure of a coffee agroforestry systems in Costa Rica (póster). *In* Pleiades days (1-3 avril 2014. Toulouse, France). Disponible en https://agritrop.cirad.fr/574309/1/document_574309.pdf
- Martin, AR; Rapidel, B; Rouspard, O; Van Den Meersche, K; Virginio ED; Barrios M; Isaac ME. 2017. Intraspecific trait variation across multiple scales: the leaf economics spectrum in coffee. *Functional Ecology* 31(3):604-612.
- Prieto, I; Roumet, C; Cardinael, R; Dupraz, C; Jourdan, C; Kim, JH; Maeght JL; Mao, Z; Pierret, A; Portillo, N; Rouspard, O; Thammahacksa, C; Stokes, A. 2015. Root functional parameters along a land-use gradient: evidence of a community-level economics spectrum. *Journal of Ecology* 103(2):361-373.
- Rouspard, O. 2015. La utilización de modelos para apoyar la validación de Innovaciones Agroforestales. *In* Diseño de Piloto de Sistemas Agroforestales en el ámbito de la Nama-Café Costa Rica. (9 dic. 2015. Turrialba, Costa Rica) (Presentación oral).
- Rouspard, O; Van Den Meersche, K; Alline, C; Vaast, P; Rapidel, B; Avelino, J; Jourdan, C; Le Maire, G; Bonnefond, JM; Harmand, JM; Dauzat, J; Albrecht, A; Chevallier, T; Gómez-Delgado, F; Charbonnier, F; Benegas, L; Welsh Unwala, KE; Kinoshita, R; Vézy, R; Pérez Molina, JP; Kim, J; Defrenet E, S; Nespoulous, J; Cambou, A; Soma, M; Mages, C; Schnabel, F; Prieto Aguilar, I; Picart, D; Duthoit, M; Rocheteau, A; Do, F; De Melo Virginio Filho, E; Moussa, R; Le Bissonnais, Y; Sánchez-Murillo, R; Roumet, C; Stokes, A; Vierling, L; Eitel, J; Dreyer, E; Saint-André, L; Malmer, A; Loustau, D; Isaac, ME; Martin, A; Priémé, A; Elberling, B; Madsen, M; Robelo, A; Robelo, D; Borgonovo, C; Lehner, P; Ramírez, LG; Jara, M; Acuna Vargas, R; Barquero, A; Fonseca, C; Gay, F. 2017. Eight years studying ecosystem services in a coffee agroforestry observatory. Practical applications for the stakeholders. *In* World Coffee summit. (31st May- 3rd June 2017. El Salvador). Invited oral presentation.
- Sánchez-Murillo, R; Birkel, C; Welsh, K; Esquivel-Hernández, G; Corrales-Salazar, J; Boll, J; Brooks, E; Rouspard, O; Sáenz-Rosales, O; Katchan, I; Arce-Mesén, R; Soulsby, C; Araguás-Araguás, LJ. 2016. Key drivers controlling stable isotope variations in daily precipitation of Costa Rica: Caribbean Sea versus Eastern Pacific Ocean moisture sources. *Quaternary Science Reviews* 131(Part B):250-261.
- Schnabel, F; Virginio, ED; Xu, S; Fisk, ID; Rouspard, O; Hagggar, J. 2018. Shade trees: a determinant to the relative success of organic versus conventional coffee production. *Agroforestry Systems* 92: 1535-1549.
- Soma, M; Vézy, R; Deswarte, C; De Melo Virginio Filho, E; Guilioni, L; Le Maire, G; Avelino, J; Rouspard, O. 2017. A simple model to predict the effect of Agroforestry on coffee canopy temperature. *Agricultural and Forest Meteorology*. (En preparation).
- Taugourdeau, S; Le Maire, G; Avelino, J; Jones, JR; Ramírez, LG; Quesada, MJ; Charbonnier, F; Gómez-Delgado, F; Harmand, J-M; Rapidel, B; Vaast, P; Rouspard, O. 2014. Leaf area index as an indicator of ecosystem services and management practices: An application for coffee agroforestry. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 192:19-37.
- Vézy, R; Christina, M; Rouspard, O; Nouvellon, Y; Duursma, R; Medlyn, B; Soma, M; Charbonnier, F; Blitz-Frayret, C; Stape, JL; Laclau, JP; Virginio, ED; Bonnefond, JM; Rapidel, B; Do, FC; Rocheteau, A; Picart, D; Borgonovo, C; Loustau, D; Le Maire, G. 2018. Measuring and modelling energy partitioning in canopies of varying complexity using MAESPA model. *Agricultural and Forest Meteorology* 253-254:203-217.
- Vézy, R; Le Maire, G; Charbonnier, F; Christina, M; Georgiou, S; Imbach, P; Hidalgo, HG; Alfaro, E; Blitz-Frayret, C; Laclau, JP; Duursma, RA; Medlyn, B; Lehner, P; Loustau, D; Rouspard, O. 2019. DynA_Cof, a new dynamic crop model for growth, yield, carbon, water, energy balances and ecosystem services: application to coffee agroforestry. *In* 4th World Congress on Agroforestry. Oral presentation, Le Corum Conference Centre Montpellier, France.
- Vézy, R; Le Maire, G; Christina, M; Georgiou, S; Imbach, P; Hidalgo, HG; Alfaro, EJ; Blitz-Frayret, C; Charbonnier, F; Lehner, P; Loustau, D; Rouspard, O. 2020. DynACof: A process-based model to study growth, yield and ecosystem services of coffee agroforestry systems. *Environmental Modelling & Software* 124.
- Virginio Filho, E de M; Arrieta, S; Escobedo Aguilar, A; Rapidel, B; Rouspard, O. 2015. Validación de Piloto de Sistemas Agroforestales en el ámbito de la Nama-Café Costa Rica (Propuesta para ejecución en 2016). Anexo 2. CATIE, Cirad, Fundecooperacion, Icafe, MAG. 30 p.
- Welsh, K; Boll, J; Sánchez-Murillo, R; Rouspard, O. 2018. Isotope hydrology of a tropical coffee agroforestry watershed: Seasonal and event-based analyses. *Hydrological Processes* 32(13):1965-1977.

AFILIACIONES DE LOS AUTORES

Adam Martin

DPES, University of Toronto, Scarborough, Canada
adam.martin@utoronto.ca

Alain Albrecht

Cirad, IRD, Université Montpellier, Inra, Montpellier SupAgro UMR-Eco&Sols, Montpellier, France
alain.albrecht@ird.fr

Alain Rocheteau

Cirad, IRD, Université Montpellier, Inra, Montpellier SupAgro UMR-Eco&Sols, Montpellier, France
alain.rocheteau@ird.fr

Alejandra Barquero

Hacienda AQUIARES, Costa Rica
alebarquero2@gmail.com

Alexia Stokes

Cirad, Inra, UMR-Amap, Montpellier, France
alexia.stokes@cirad.fr

Alfonso Robelo

Hacienda AQUIARES, Costa Rica

Anne Clément-Vidal

Cirad, UMR-AGAP, Montpellier, France
anne.clement-vidal@cirad.fr

Anders Malmer

Swedish University of Agricultural Sciences (SLU), Suede
anders.malmer@slu.se

Anders Prieme

University Copenhagen, Copenhagen, Danemark
aprieme@bio.ku.dk

Aurélie Cambou

Cirad, IRD, Université Montpellier, Inra, Montpellier SupAgro UMR-Eco&Sols, Montpellier, France;
 Agrocampus Ouest, UPSP EPHor, Angers, France
aurelie.cambou5@gmail.com

Bernard Barthès

Cirad, IRD, Université Montpellier, Inra, Montpellier SupAgro UMR-Eco&Sols, Montpellier, France
bernard.barthes@ird.fr

Bo Eberling

University Copenhagen, Copenhagen, Danemark
be@ign.ku.dk

Bruno Rapidel

Cirad, Ciheam-Iamm, Inra, Montpellier SupAgro, Université de Montpellier, UMR-System, Montpellier, France;
 PCP Agroforestry MesoAmerica, Catie, Costa Rica
bruno.rapidel@cirad.fr

Carlo Borgonovo

Hacienda AQUIARES, Costa Rica
cborgonovo4@gmail.com

Carlos Fonseca

Icafe, Costa Rica
cfonseca@icafe.cr

Carolyn Mages

University Copenhagen, Copenhagen, Danemark
fmz403@alumni.ku.dk

Catherine Roumet

CNRS, Cefe UMR-5175, Montpellier, France
catherine.roumet@cefe.cnrs.fr

Christian Valentin

IRD, UMR-IEES, Paris, France
christian.valentin@ird.fr

Christophe Jourdan

Cirad, IRD, Université Montpellier, Inra, Montpellier SupAgro UMR-Eco&Sols, Montpellier, France;
 Inra, Montpellier SupAgro, UMR-Lisah, France
christophe.jourdan@cirad.fr

Clémentine Allinne

Cirad, Ciheam-Iamm, Inra, Montpellier SupAgro, Université de Montpellier, UMR-System, Montpellier, France;
 Catie, Programa de agricultura, ganadería y agroforestería, Turrialba, Costa Rica
clementine.allinne@cirad.fr

Delphine Picart

Inra, UMR-Ispa, Bordeaux, France
delphine.deshors-picart@inra.fr

Denis Loustau

Inra, UMR-ISPAA, Bordeaux, France
denis.loustau@inra.fr

Diego Robelo

Hacienda AQUIARES, Costa Rica
drobelo@aquiares.com

Elias de Melo Virginio Filho

Catie, 7170 Turrialba, Costa Rica;
 PCP Agroforestry MesoAmerica, Catie, Costa Rica
eliasdem@catie.ac.cr

Elsa Defrenet

Agrocampus Ouest, Rennes, France
elsa.defrenet@gmail.com

Erwin Dreyer

Inra, UMR-EEF, Inra-Nancy, France
erwin.dreyer@inra.fr

Fabien Charbonnier

Cirad, IRD, Université Montpellier, Inra, Montpellier SupAgro UMR-Eco&Sols, Montpellier, France;
 Catie, 7170 Turrialba, Costa Rica;
 PCP Agroforestry MesoAmerica, Catie, Costa Rica;
 El Colegio de la Frontera Sur, SCddc, Chiapas, México
charbonnier@ecosur.mx

Federico Gómez-Delgado

Cirad, IRD, Université Montpellier, Inra, Montpellier SupAgro UMR-Eco&Sols, Montpellier, France;
 ICE - Costa Rican Institute of Electricity, Costa Rica;
 PCP Agroforestry MesoAmerica, Catie, Costa Rica;
 World Meteorological Organization (WMO), Costa Rica
eduardogranados30@gmail.com

Frédéric Do

Cirad, IRD, Université Montpellier, Inra, Montpellier SupAgro UMR-Eco&Sols, Montpellier, France
frederic.do@ird.fr

Frédéric Gay

Cirad, IRD, Université Montpellier, Inra, Montpellier SupAgro UMR-Eco&Sols, Montpellier, France;
 Catie, 7 170 Turrialba, Costa Rica;
 PCP Agroforestry MesoAmerica, Catie, Costa Rica
frederic.gay@cirad.fr

Florian Guidat

Cirad, IRD, Université Montpellier, Inra, Montpellier SupAgro UMR-Eco&Sols, Montpellier, France
florian.guidat22@gmail.com

Florian Rançon

Cirad, IRD, Université Montpellier, Inra, Montpellier SupAgro UMR-Eco&Sols, Montpellier, France
florian.rancon@ims-bordeaux.fr

Florian Schnabel

Catie, 7 170 Turrialba, Costa Rica;
 FENR, University of Freiburg, Allemagne
florian.schnabel@idiv.de

Guerric Le Maire

Cirad, IRD, Université Montpellier, Inra, Montpellier SupAgro UMR-Eco&Sols, Montpellier, France
guerric.le_maire@cirad.fr

Guillermo Ramírez

Hacienda AQUIARES, Costa Rica
guiller2151@yahoo.es

Iván Prieto

CNRS, Cefe UMR-5 175, Montpellier, France
ivan.prieto@cefe.cnrs.fr

Jacques Avelino

Cirad, Université de Montpellier, UPR-Bioagresseurs, Montpellier, France; Catie, Programa de agricultura, ganadería y agroforestería, Turrialba, Costa Rica
jacques.avelino@cirad.fr

Jan Eitel

University of Idaho, Etats-Unis
jeitel@uidaho.edu

Jean Dauzat

Cirad, Inra, UMR-Amap, Montpellier, France
jean.dauzat@cirad.fr

Jean-Marc Bonnefond

Inra, UMR-ISPA, Bordeaux, France
jean-marc.bonnefond@inra.fr

Jean-Michel Harmand

Cirad, IRD, Université Montpellier, Inra, Montpellier SupAgro UMR-Eco&Sols, Montpellier, France; Icrat (World Agroforestry) Nairobi, Kenya
jean-michel.harmand@cirad.fr

Jérôme Nespoulous

Cirad, Inra, UMR-Amap, Montpellier, France
jerome.nespoulous@cirad.fr

John Kim

Cirad, Inra, UMR-Amap, Montpellier, France
jkim@bgc-jena.mpg.de

Junior Pastor Pérez-Molina

Catie, 7170 Turrialba, Costa Rica; PCP Agroforestry MesoAmerica, Catie, Costa Rica; Federal University of Vicosa, Brazil; Montpellier SupAgro, Montpellier, France
jpastorpm@gmail.com

Karel Van den Meersche

Cirad, IRD, Université Montpellier, Inra, Montpellier SupAgro UMR-Eco&Sols, Montpellier, France; Catie, 7 170 Turrialba, Costa Rica; PCP Agroforestry MesoAmerica, Catie, Costa Rica
karel.van_den_meersche@cirad.fr

Kristen Welsh

Catie, 7170 Turrialba, Costa Rica; University of Idaho, Etats-Unis
kristen.unwala@ub.edu.bs

Laurent Saint-André

Cirad, IRD, Université Montpellier, Inra, Montpellier SupAgro UMR-Eco&Sols, Montpellier, France; Inra, UR-BEF, Nancy, France
st-andre@nancy.inra.fr

Laura Benegas

Catie, 7170 Turrialba, Costa Rica; Swedish University of Agricultural Sciences (SLU), Suède
Laura.Benegas@slu.se,
laura.benegas@catie.ac.cr

Lee Vierling

University of Idaho, États-Unis ; Catie, 7170 Turrialba, Costa Rica
leev@uidaho.edu

Manuel Jara

Hacienda AQUIARES, Costa Rica
manueljara@yahoo.es

Marney Isaac

DPES, University of Toronto, Scarborough, Canada
marney.isaac@utoronto.ca

Maxime Duthoit

Cirad, IRD, Université Montpellier, Inra, Montpellier SupAgro UMR-Eco&Sols, Montpellier, France
maxime.duthoit@cirad.fr

Maxime Soma

Cirad, IRD, Université Montpellier, Inra, Montpellier SupAgro UMR-Eco&Sols, Montpellier, France; UR-Ecologie des Forêts Méditerranéennes, Inra, Avignon, France
maxime.soma@inra.fr

Mikael Madsen

University Copenhagen, Copenhagen, Danemark
Mikael.Madsen@jur.ku.dk

Olivier Rouspard

Cirad, IRD, Université Montpellier, Inra, Montpellier SupAgro UMR-Eco&Sols, Montpellier, France; Catie, 7170 Turrialba, Costa Rica; PCP Agroforestry MesoAmerica, Catie, Costa Rica; LMI IESOL (IRD/Isra/Ucad/Cirad), Dakar, Sénégal
olivier.rouspard@cirad.fr

Peter-Hans Lehner

Hacienda AQUIARES, Costa Rica
peterhanslehner@gmail.com

Philippe Vaast

Cirad, IRD, Université Montpellier, Inra, Montpellier SupAgro UMR-Eco&Sols, Montpellier, France; Icrat (World Agroforestry) Nairobi, Kenya
philippe.vaast@cirad.fr

Rachida Moussa

Inra, Montpellier SupAgro, UMR-Lisah, Montpellier France
moussa@supagro.inra.fr

Rafael Acuña Vargas

Hacienda AQUIARES, Costa Rica
racuna@aquiares.com

Rémi Vézy

Université de Bordeaux, Bordeaux, France; Cirad, IRD, Université Montpellier, Inra, Montpellier SupAgro UMR-Eco&Sols, Montpellier, France
remi.vezy@inra.fr, remi.vezy@cirad.fr

Ricardo Sánchez-Murillo

UNA, Stable Isotope Research Group, Costa Rica
ricardo.sanchez.murillo@una.cr

Rintaro Kinoshita

Cornell University, Etats-Unis
rk422@cornell.edu

Simon Taugourdeau

Cirad, UMR-Selmet, Montpellier, France
simon.taugourdeau@cirad.fr

Tiphaine Chevallier

Cirad, IRD, Université Montpellier, Inra, Montpellier SupAgro UMR-Eco&Sols, Montpellier, France
tiphaine.chevallier@ird.fr

Yves Le Bissonais

Inra, Montpellier SupAgro, UMR-Lisah, Montpellier, France
lebisson@supagro.inra.fr

Avances de Investigación

El potencial de la mecanización en el manejo de los árboles asociados al cultivo del café. Rol en la adaptación, mitigación y sostenibilidad del cultivo ante el cambio climático*

Loïc Basnonville¹, Elias de Melo Virginio Filho², Luis Fernando Romero Molina²

RESUMEN

Los desafíos actuales de la caficultura sugieren la generación de innovaciones que posibiliten productividad, rentabilidad y sostenibilidad ambiental. El objetivo de la investigación fue determinar el potencial inicial del uso de podadora mecánica telescópica en el manejo de árboles asociados al cultivo del café. El estudio se estableció entre los meses de marzo y agosto del 2018 en el ensayo de largo plazo de sistemas agroforestales con café, ubicado en el CATIE, Turrialba, Costa Rica, en parcelas de sombra con *Erythrina poeppigiana*, con podas reguladas a una altura intermedia de hasta 5,5 metros y podas drásticas a altura baja (2 metros). Se evaluaron tipos de poda e influencia de manejos agronómicos (convencionales y orgánicos en diferentes intensidades) sobre la producción de biomasa aérea. El diseño experimental fue un factorial incompleto y el análisis estadístico se realizó por medio de ANOVA. Un primer resultado confirma que la poda regulada a altura intermedia produce más biomasa (más del 100%) que la poda drástica a baja altura. Además, los resultados indicaron que el dominio de los árboles de servicio para la producción de biomasa y regulación de sombra se logra con la altura intermedia de manejo de entre 3 a 4 metros. Se evidenció el potencial de la regulación mecánica de las copas de los árboles con podadora telescópica para la altura intermedia, no así para poda drástica baja. En podas reguladas a altura intermedia, se redujo el riesgo en relación al manejo que requiere subir a los árboles; se facilitó el aporte frecuente de biomasa por poda regulada incrementando el abonamiento verde y la regulación de entrada de luz adecuada y se aumentó la eficiencia de la mano de obra, una vez que se incrementa de manera importante el número de árboles intervenidos por jornal.

Palabras clave: podadora mecánica telescópica, producción de biomasa, poda regulada y eficiencia.

ABSTRACT

Current challenges of coffee farming suggest the generation of innovations that enable productivity, profitability and environmental sustainability. Research objective was to determine the initial potential of the use of a mechanical telescopic pruner in the management of trees associated with coffee crop. The study was established between the months of March and August 2018 in the long-term trial of agroforestry systems with coffee, located in CATIE, Turrialba, in shaded plots with *Erythrina poeppigiana*, with regulated pruning at intermediate height up to 5,5 meters and drastic pruning at low height (2 meters). Pruning types and the influence of agronomic management (conventional and organic in different intensities) on the production of aerial biomass were evaluated. The experimental design was an incomplete factorial, and the statistical analysis was performed using ANOVA. A first result confirms that regulated pruning at intermediate height produces more biomass (more than 100%) than drastic pruning at low height. In addition, the results indicated that mastery of service trees for biomass production and shade regulation is achieved with the intermediate management height of between 3 to 4 meters high. The potential of mechanical regulation of tree tops with a telescopic pruner for intermediate height was evident, but not for drastic low pruning. In regulated pruning at intermediate height, the risk was reduced in relation to the management that requires climbing the trees; the frequent contribution of biomass by regulated pruning was facilitated by increasing green manuring and the regulation of adequate light input and the efficiency of the labor force, once there was a significant increase in the number of trees intervened per day.

Keywords: mechanical telescopic pruner, biomass production, regulated pruning, efficiency.

INTRODUCCIÓN

Control de entrada de luz y sombra en los cafetales

La exposición de los cafetales al exceso de sol o sombra resulta en efectos negativos. El exceso de sol y consecuente aumento de la temperatura afecta el suelo, causa estrés a las plantas y agotamiento de tejidos,

reduce la vida productiva de cafetos e incrementa la demanda de insumos externos para control de hierbas y fertilización. Así mismo, el exceso de sombra puede reducir drásticamente la producción de café. Tanto el exceso de sol como de sombra favorecen la aparición de plagas y enfermedades vinculadas a dichas condiciones.

* Trabajo presentado en el XXIV Simposio Latinoamericano de caficultura, Guatemala 2019, PROMECAFE, ANACAFE

1 AgrosupDijon, Francia; loic0905@gmail.com

2 CATIE-PROCAGICA-IICA-UE, Costa Rica

En este sentido, el diseño y manejo de la sombra de manera equilibrada es una condición indispensable para la sostenibilidad de la caficultura. Dependiendo de diferentes factores, los valores adecuados de cobertura de sombra pueden estar entre el 40% y el 60% (Merlo 2007, SCAN 2015). El asocio de los cafetales con los árboles es una estrategia de alta relevancia tanto para la diversificación de la producción, como para promover el microclima adecuado para el café; además, es clave para fijar el carbono atmosférico (SCAN 2015).

Importancia de las podas de los árboles de servicio (*Erythrina poeppigiana*)

Se conoce la importancia de los árboles de servicio, en particular de *E. poeppigiana*, en asocio con el cultivo del café en especial por el aporte de fijación de nitrógeno al suelo, alta producción de biomasa y excelente respuesta a la poda (Russo 1983, Farfán 2016). Los árboles de *Erythrina* y otros árboles de servicio deben estar bajo manejo y control constante dado su rápido crecimiento; en libre crecimiento es muy difícil controlar la cobertura ideal de sombra. Como lo indica Muschler (2000), en Costa Rica se recomienda mínimo dos manejos de sombra por año, uno después de cosecha y otro al inicio de lluvias.

Los productores realizan podas reguladas a altura intermedia con ayuda de escalera o hacen podas drásticas a baja altura con machete. La poda regulada a altura intermedia (4 a 5 metros), con manutención de dos o tres ramas, mantiene activo el metabolismo de los árboles y potencializa tanto la fijación de nitrógeno como el aporte de biomasa verde que complementa la nutrición del cafetal. La poda drástica a baja altura reduce la fijación de nitrógeno y la producción de biomasa (Chesney 2001 *et al.*, Farfán 2014). Aunque ya se recomienda la utilización de la mecanización para el manejo de la sombra (ANACAFE 2011), su práctica es poco utilizada en los países productores de café que, tradicionalmente, usan sombra en los cafetales.

OBJETIVOS

Evaluar el uso de la podadora telescópica en el manejo de la sombra, y en particular su potencial para regular la entrada de luz, producción de biomasa, bajar riesgos y dificultades en la poda de los árboles de servicio (*E. poeppigiana*).

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación y período del estudio

El estudio se llevó a cabo en el ensayo de largo plazo de sistemas agroforestales en café, ubicado en el Centro

Agroforestal de Investigación y Enseñanza (CATIE), Turrialba, Costa Rica, entre los meses de julio a setiembre de 2018.

El ensayo de largo plazo tiene un área total de 9,2 hectáreas, una altitud de 600 msnm, clima tropical húmedo, precipitaciones promedio de 3037 mm/año, temperatura promedio de 22°C, humedad relativa de 89,6% y radiación solar de 15,6 Mj/m². Los suelos son aluviales mixtos, con una camada fértil de 10 a 30 cm de profundidad, textura franca a franca-arcillosa (Virginio Filho 2012). El ensayo, propuesto inicialmente para un mínimo de 20 años, evalúa 20 sistemas (18 de sombra y 2 de pleno sol). Las especies arbóreas utilizadas son *Erythrina poeppigiana*, *Chloroleucon eurycyclum* y *Terminalia amazonia*. Los sistemas evaluados están divididos en cuatro manejos (AC= alto convencional; MC= moderado convencional; MO= orgánico intensivo; BO= bajo orgánico) (Haggar *et al.* 2001).

El estudio sobre la poda mecanizada fue realizado en 2018 y se concentró en las parcelas experimentales con sombra exclusiva de *E. poeppigiana* bajo los cuatro tipos y niveles de manejo (AC; MC; MO; BO).

Técnicas de podas evaluadas

El estudio consideró la comparación de dos tipos de podas: poda drástica de los árboles a 2 metros de altura y regulada a altura intermedia de entre 4 y 5 metros. Se realizaron podas con la técnica tradicional con uso de machete y escalera, así como con una podadora mecánica telescópica (Marca Stihl: extensión de 5 m; cilindradas 31,4 cc; potencia de 1,4 HP).

Producción de biomasa según el tipo de poda y el manejo de la parcela

El modelo experimental consideró los factores tipo de poda (PD= drástica y PR= regulada) y manejo de la parcela (AC, MC, MO, BO). En total se evaluaron 44 árboles, cuatro en AC-PD, dos en MC-PD, cuatro en MC-PR, dos en MO-PD, cuatro en MO-PR, dos en BO-PD y cuatro en BO-PR en dos repeticiones. Para el análisis estadístico se utilizó un ANOVA. Para la medición de materia verde por árbol se utilizaron las metodologías propuestas por Russo (1983), Salazar (1989), Montenegro (2005) y Romero (2006). Los árboles podados fueron seleccionados al azar en mapas y luego ubicados en campo.

Duración de la operación de poda

Se usó un segundo modelo para evaluar la duración de poda con base en los factores tipo de poda y técnica de poda. Se utilizó un diseño factorial completo y una ANOVA para el análisis estadístico. En total se evaluaron 44 árboles distribuidos de la siguiente manera: ocho manual-PD, seis en manual-PR, dos mecanizada-PD, seis mecanizada-PR, divididos en dos repeticiones.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Producción de biomasa aérea por árbol por sistema de poda

Las podas reguladas (R) a altura intermedia, con el uso de la podadora telescópica mecánica presentaron los mayores valores de biomasa seca (kg/por árbol). Los valores mayores encontrados estuvieron en las parcelas manejo orgánico intensivo (R-MO= 17,03 kg/árbol) y manejo orgánico bajo (R-BO= 15,02 kg/árbol). Los valores más bajos correspondieron a los sistemas de podas drásticas (D) en manejo moderado convencional (D-MC= 4,78 kg/árbol), bajo orgánico (D-BO= 5,42 kg/árbol) y alto convencional (D-AC= 7,78 kg/árbol). Los tratamientos MC-R y MO-D no fueron significativamente diferentes (Cuadro 1).

Cuadro 1. Resultados del test post-hoc y LSD Fischer para la producción de biomasa seca (kg/árbol) según manejo agronómico de la parcela y el tipo de poda, ensayo de largo plazo en sistemas agroforestales con café, Turrialba, Costa Rica

Tratamiento*	Promedio	Desviación estándar	Significancia**
Poda R-MO	17,03	2,56	A
Poda R-BO	15,02	2,08	A
Poda R-MC	11,54	1,46	A, B
Poda D-MO	7,99	1,44	B, C
Poda D-AC	7,78	1,00	C
Poda D-BO	5,42	1,11	C
Poda D-MC	4,78	1,04	C

*R-MO= regulada en manejo orgánico intensivo; R-BO= regulada en manejo bajo orgánico; R-MC= regulada en manejo moderado convencional; D-MO= drástica en manejo orgánico intensivo; D-AC= drástica en manejo alto convencional; D-BO= drástica en manejo bajo orgánico; D-MC= drástica en manejo moderado convencional. **Tratamientos que comparten una letra no son estadísticamente significativos.

Producción de biomasa aérea por hectárea

Los sistemas con poda regulada de los árboles a altura intermedia, con manutención mínima de ramas, produjeron dos veces más biomasa que los sistemas con poda drástica total de la copa de los árboles a altura baja. Por otro lado, en los sistemas orgánicos se produjeron los

mayores valores promedios de biomasa por hectárea (MO= 2602 kg/ha; BO= 2126 kg/ha) (Cuadro 2). En las parcelas AC todos los árboles fueron podados de manera drástica reproduciendo las condiciones de fincas con manejo intensivo de la sombra en Costa Rica, mientras que en los demás sistemas se combinaron los dos sistemas de poda procurando aumentar el aporte de biomasa en los sistemas.

Estimación del aporte de nitrógeno (N) por biomasa de poda

En un estudio realizado por Montenegro (2005) en el mismo ensayo de largo plazo de CATIE, se determinó que de toda la biomasa de poda de *E. poeppigiana*, las hojas tenían 4,8% de nitrógeno (N) y las ramas 1,02%. Con base en estos datos se estimó los datos de biomasa generados en el presente estudio (Cuadro 2) y los aportes esperados de N (kg/ha) por las podas en los diferentes manejos. Los sistemas orgánicos presentaron mayor contenido de N aportado por las podas (MO= 55 kg/ha; BO= 45 kg/ha), seguidos por el MC (36 kg/ha) y el AC (34 kg/ha) (Cuadro 3).

Duración de la poda de árboles con diferentes sistemas

Para la poda drástica, a altura baja en el 100% de los árboles, la poda fue 19 minutos más rápida con la podadora mecánica respecto a la poda manual, aunque no hubo diferencia estadística. En las parcelas donde se combinó la mitad de los árboles con poda drástica y la otra mitad con poda regulada a altura intermedia, la poda manual fue 58 minutos más rápida que la poda mecánica (Cuadro 4). Los resultados estuvieron determinados por la altura de los árboles de poda regulada (muchas veces superó los 5 m), dificultando la operación. Además, es importante indicar que el operador estaba utilizando la máquina en labores rutinarias por primera vez.



Día de campo con productores de cooperativas de café sobre mecanización del manejo de sombra en cafetales. Foto: FUNCAFOR.

Cuadro 2. Producción promedio de biomasa seca (kg por hectárea) de *E. poeppigiana* en cuatro tipos y niveles de manejo agronómico y tipo de poda (datos de una única poda julio 2008), ensayo de largo plazo en sistemas agroforestales con café, Turrialba, Costa Rica

Tipos de manejo	N° árboles/ha	Tipo de poda de los árboles	Producción (kg/ha) por tipo de poda	Producción (kg/ha) área total
AC-alto convencional	208	Drástica	1618	1618
MC-moderado convencional	104	Regulada	1200	1697
	104	Drástica	497	
MO-orgánico intensivo	104	Regulada	1771	2602
	104	Drástica	831	
BO-bajo orgánico	104	Regulada	1562	2126
	104	Drástica	564	

Cuadro 3. Estimación de la cantidad de nitrógeno (kg/ha) aportados por la poda de copa de *E. poeppigiana* en cuatro tipos y niveles de manejo agronómico en el ensayo de largo plazo en sistemas agroforestales con café, Turrialba, Costa Rica. Julio 2018

Tipos de manejo	Producción (kg/ha total)	N (kg/ha) aportado en hojas	N (kg/ha) aportado en ramas	Total de N (kg/ha) aportado por poda
AC-alto convencional	1618	23	12	34
MC-moderado Convencional	1697	24	12	36
MO-orgánico intensivo	2602	36	19	55
BO-bajo orgánico	2126	30	15	45

Cuadro 4. Duración promedio (horas:minutos) de poda de *E. poeppigiana* según tipo de poda (manual, mecánica, drástica, regulada) en el ensayo de largo plazo de sistemas agroforestales con café, Turrialba, Costa Rica. Julio 2018

Tipo de poda	N° árboles/ha	Duración poda (hora:min/ha)	Duración total (hora:min/ha)**
Poda manual-machete			
100% drástica para todos los árboles	208	06:47	06:47 C
Combinado: 50% drástica	104	03:23	15:29 B
50% regulada	104	12:06	
Poda mecanizada con podadora telescópica*			
100% drástica para todos los árboles	208	06:28	06:28 C
Combinado: 50% drástica	104	03:14	16:27 A
50% regulada	104	13:13	

*Fue la primera vez que el operador usaba la máquina y además muchos árboles donde se realizó poda regulada a altura intermedia no tenían la altura ideal para el trabajo con la podadora desde el suelo ya que superaban los 5 m de alto.

**Las letras corresponden a los resultados de significancia a partir del test LSD Fischer

Otros resultados

Se confirmó, a través de la observación y opinión del operador, que los riesgos de accidente durante la poda de los árboles se reducen de manera importante cuando se utiliza la podadora mecánica telescópica, principalmente porque elimina la necesidad de subir a los árboles para realizar la poda; aunque, siempre hay que tomar las medidas de protección con la máquina (equipo de seguridad, forma de cortes de las ramas,

ubicación del operador), para evitar otros accidentes. Además, se determinó que el esfuerzo físico fue menor y la facilidad de realización de la operación de poda con la máquina telescópica fue mayor.

Durante la prueba inicial, en las condiciones de los árboles de *E. poeppigiana* con alturas incómodas para la operación desde el suelo, el consumo de gasolina de la podadora telescópica para podar 104 árboles fue de

3,8 litros. La poda drástica con altura baja de la misma cantidad de árboles demandó un consumo de 1,6 litros de gasolina. Los resultados nos permiten estimar que, para realizar una poda regulada a alturas intermedias de 3 a 4 metros, el consumo de gasolina para podar 104 árboles podría estar entre 2 a 2,5 litros.

Los aportes de biomasa altos, y por consiguiente aportes de nutrientes (en especial N) altos (Russo 1983, Farfán 2016), vía la poda regulada a altura intermedia, se confirmaron en el presente estudio cuando se compararon con podas drásticas bajas (Chesney 2001). La reducción de riesgos de caídas de los árboles durante la poda, menor esfuerzo y facilidad de operación de las podas con máquina telescópica mecánica, son coincidentes con lo reportado por Virginio Filho *et al.* (2019a).

La altura ideal de los árboles de *E. poeppigiana* para el uso de podadora telescópica reportada por Virginio Filho *et al.* (2019a), confirma que las alturas de poda superiores a 5 metros no son recomendadas para una operación rápida, cómoda y segura desde el suelo.

Las particularidades de altura de los árboles de *E. poeppigiana* en las condiciones del estudio, variaron la eficiencia en el manejo del tiempo con la podadora telescópica. Para podas drásticas se podaron 208 árboles/ha en poco más de 6 horas, pero, para la combinación de poda regulada y drásticas, el tiempo fue de poco más de 16 horas para 208 árboles/ha. En estudios en Costa Rica y Guatemala, los productores reportaron realizar la poda regulada a altura intermedia de 90 y 100 árboles de *Erythrina* e *Inga* en cuatro horas promedio de operación (Virginio Filho *et al.* 2019b).

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Los resultados confirman el potencial de la mecanización de la poda de los árboles de servicio, en particular de *E. poeppigiana* a altura intermedia, con el propósito de incrementar el aporte de biomasa/nutrientes en los cafetales y regular más fácilmente la cobertura de sombra en el cafetal.

La mecanización puede ampliar la posibilidad de contar con mayor cantidad de árboles de servicio por hectárea posibilitando, con mayor facilidad, menor esfuerzo y bajos riesgos, un balance equilibrado entre la regulación de entrada de luz e incremento de nutrientes en los cafetales a partir de la poda oportuna de los árboles de servicio tantas veces cuanto se requiera durante un ciclo de manejo.

La mecanización abre la posibilidad de intervenciones anuales más frecuentes de conformidad con el propósito de fortalecimiento de la resiliencia y adaptación de los cafetales a programas de manejo sostenible en el contexto del cambio climático.

La operación de poda de los árboles de servicio será siempre más efectiva, independientemente de si es manual o mecánica, si es realizada por dos operadores de manera complementaria (uno que poda los árboles y otro que pica y acomoda el material podado).

Seguir validando el uso de la mecanización de la poda de los árboles, en particular los de servicio en diferentes zonas cafetaleras de la región, permite una mayor sistematización de información que podría conllevar a un mayor uso del equipo de poda de manera adecuada y apropiada por parte de las familias productoras.

Ampliar la evaluación del tiempo de operación con la máquina podadora con árboles de diferente arquitectura (alturas y formas), con altura ideal de poda desde el suelo (3 a 4 m).

Incorporar el tema de la poda mecanizada en los programas de fortalecimiento de capacidades de técnicos y familias productoras.

BIBLIOGRAFÍA

- ANACAFE (Asociación Nacional del Café, Guatemala). 2011. La sombra del cafetal. Ciudad de Guatemala, Guatemala.
- Chesney, P; Schlonvoigt, A; Kass, D; Murach, D. 2001. Respuesta de las raíces finas y acumulación de nitrógeno en el follaje de *Erythrina poeppigiana* después de podas parciales o completas. *Agroforestería en las Américas* 8(30):48-51.
- Farfán, F; Baute, J N; Menza, H D; Sánchez, P M2016. *Erythrina* sp. para sistemas agroforestales con café. *Avances técnicos Cenicafe* 464: 1-8.
- Farfán, F. 2014. Mantenimiento del componente arbóreo en sistemas agroforestales con café. *Avances técnicos Cenicafe* 440:1-8.
- Haggar, J; Virginio Filho, E; Staver, C. 2001. Sostenibilidad y sinergismo en sistemas agroforestales con café: Un estudio de interacciones entre las plagas, la fertilidad del suelo y el estrato árbol. *Agroforestería en las Américas* 8(29): 7
- Merlo, CME. 2007. Comportamiento productivo del café (*Coffea arabica* var Caturra), el poró (*Erythrina poeppigiana*), el amarillón (*Terminalia amazonia*) y el cashá (*Chloroleucon eurycyclum*) en sistemas agroforestales bajo manejos convencionales y orgánicos en Turrialba. Tesis Mag Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 81 p.
- Montenegro, E. 2005. Efecto del aporte de nutrientes de la biomasa de tres tipos de árboles de sombra en sistemas de manejo de café orgánico y convencional. Tesis Mag Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 63 p.

- Muschler, R. 2000. Árboles en cafetales. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 130 p. (Materiales de Enseñanza no. 5; Colección Módulos de Enseñanza Agroforestal no. 5).
- Romero, S. 2006. Aporte de biomasa y reciclaje de nutrientes en seis sistemas agroforestales de café (*Coffea arabica* var. Caturra), con tres niveles de manejo. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 87 p.
- Russo, R. 1983. Descripción de *Erythrina poeppigiana* (Walpers) O. F. Cook. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 7 p.
- Salazar, R. 1989. Guía para la investigación silvicultural de especies de uso múltiple. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 174 p. (Serie técnica, Boletín técnico N°20).
- SCAN (Plataforma Nacional de Café Sostenible). 2015. La regulación de la sombra, una alternativa para hacer el cafetal sostenible. Plataforma nacional de café sostenible. s. l. 13 p.
- Virginio Filho, E. 2012. Ensayo de sistemas agroforestales con café: más de una década de resultados pioneros en el mundo (en línea). Turrialba, Costa Rica, CATIE. 14 p. (Presentación de resultados de investigación). Consultado 4 abr. 2018. Disponible en <https://www.catie.ac.cr/attachments/article/546/Ens%20Sist%20Agrof%20Cafe%20CATIE-%20ASIC%202012.pdf>
- Virginio Filho, E.; Yamauchi, M.; Bello, L.; Garth, I.; Russi, A.; Abreu, D.; Alcantara, D.; León, C. 2019a. Evaluación de las medidas de adaptación priorizadas (diapositivas PowerPoint). Turrialba, Costa Rica, COOCAFE-FUNDECOOPERACION-FONDO DE ADAPTACIÓN. APOYO CATIE-PROCAGICA-IICA-UE. (Reporte).
- Virginio Filho, E.; Basnonville, L; Molina, R. 2019b. Evaluación preliminar de mecanización en manejo de la sombra en cafetales (diapositivas PowerPoint). Turrialba, Costa Rica, CATIE-PROCAGICA-IICA-UE.

Avances de Investigación

Comportamiento vegetativo de *Coffea arabica* var Caturra en asocio con *Terminalia amazonia* y *Erythrina poeppigiana* en sistemas agroforestales bajo manejos convencional y orgánico en Turrialba, Costa Rica*

Gabriela Sanches Dolenc¹, Elias de Melo Virgínio Filho², Fernando Casanoves³

RESUMEN

Los sistemas agroforestales son uno de los sistemas que más aportan a la adaptación y mitigación del cambio climático. Sin embargo, existen vacíos de información sobre las interacciones agroecológicas entre las especies, lo cual ha limitado el diseño y manejo eficiente de los arreglos agroforestales. El objetivo de la investigación fue comparar el comportamiento vegetativo de la variedad Caturra en asocio con *Terminalia amazonia* (maderable de alto valor comercial) y de *Erythrina poeppigiana* (árbol de servicio). Las evaluaciones se hicieron entre los meses de febrero y marzo de 2017 en el ensayo de sistemas agroforestales con café ubicado en el CATIE, Turrialba, Costa Rica, establecido en el año 2000. Se evaluó el vigor de las plantas, nudos y floración en manejos convencionales (AC= alto y MC= moderado) y orgánico (MO= intensivo). El diseño experimental consistió en bloques completos al azar, con tres repeticiones. El análisis estadístico se hizo por medio de ANOVA. Los resultados mostraron que, Caturra bajo el sistema AC con sombra de *Erythrina*, presentó un buen vigor, seguido del *Erythrina* MC. Sin embargo, para el caso del MO para ambas especies la condición de vigor fue regular. El peor resultado se presentó en *Terminalia* MC, seguido de *Terminalia* AC y Psol MC, todos presentaron un vigor bajo. Los contrastes estadísticos indicaron que el número total de nudos fueron más representativos en los manejos con *Erythrina*. Para la floración los mejores resultados fueron para Caturra asociado con *Erythrina*. El estudio confirma la influencia positiva del árbol de servicio tanto en la vigorosidad de la planta, así como en la floración. Es importante indicar que hubo un control equilibrado de la entrada de luz y aporte de biomasa de *Erythrina* dos veces por año. Considerando la importancia de la diversificación, se sugiere que, en cafetales con árboles maderables, de comportamiento similar a *Terminalia*, estén siempre en asocio con árboles de servicio.

Palabras clave: adaptación y mitigación, cambio climático, arreglo agroforestal resiliente, diversificación

ABSTRACT

Agroforestry systems are indicated as one of the most important systems that contribute to climate change adaptation and mitigation. However, there are information gaps on agroecological interactions between species which limits the design and efficient management of agroforestry arrangements. The objective of the research was to compare the vegetative behavior of the Caturra variety in association with *Terminalia amazonia* (timber of high commercial value) and *Erythrina poeppigiana* (service tree). The evaluations were made between the months of February and March 2017 in the trial of coffee agroforestry systems, in CATIE, Turrialba, that were established in 2000. Plant, nodes and flowering vigor were evaluated in conventional management (AC = High and MC = Moderate) and organic (MO = Intensive). The experimental design responded to randomized complete blocks, with three repetitions. Statistical analysis was done through ANOVA. The results showed, that Caturra in AC system with *Erythrina* shade, presented very good vigor, followed by *Erythrina* MC, the MO for both species showed regular vigor. *Terminalia* MC showed the worst results with low vigor followed by *Terminalia* AC and Psol MC. Statistical contrasts indicated that the total number of nodes were more representative in the treatments with *Erythrina*. Similarly, for best flowering was shown with Caturra associated with *Erythrina*. The study confirms the positive influence of the service tree for both the vigor and flowering of coffee plants. It is relevant to indicate that there was balanced control of the light input and biomass input of *Erythrina* twice a year. Considering the importance of diversification, it is suggested that coffee plantations with timber trees, with behavior similar to *Terminalia*, should always be done in association with service trees.

Keywords: adaptation and mitigation, climate change, resilient agroforestry arrangement, diversification

* Trabajo presentado en el XXIV Simposio Latinoamericano de caficultura, Guatemala 2019, PROMECAFE, ANACAFE

1 USP/ESALQ-Universidad de Sao Paulo/Escuela Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Brasil; gabrielasdolenc@gmail.com

2 CATIE-PROCAGICA-IICA-UE, Costa Rica

3 CATIE-Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, Costa Rica

INTRODUCCIÓN

La revolución verde buscó aumentar rendimientos en la producción de café combinando nuevas variedades, entre ellas Caturra con altas aplicaciones de agroquímicos, en especial para el control de plagas y enfermedades (Haggar 2005). Los altos costos que conllevan los sistemas muy dependientes de altos insumos y la volatilidad de precios han afectado a los pequeños y grandes productores (Hagaar 2007). Por otro lado, los impactos ambientales por la contaminación con agroquímicos y la erosión del suelo, entre otros, ha generado desafíos adicionales a la caficultura como lo es construir de manera equilibrada la sostenibilidad económica, social y ambiental.

En la región centroamericana predominan los cultivos de *Coffea arabica* (arábica). En el mundo esta especie ocupa el 65% de la producción, mientras que *C. canephora* (robusta) ocupa el 35% (Pohlan y Janssens 2010).

El café arábica es originario de bosques tropicales de Etiopía, Kenia y Sudán (Fernandes *et al.* 2012), lo que justifica la promoción del cultivo en sistemas agroforestales. Los estudios confirman de manera clara la importancia estratégica de los sistemas agroforestales para la diversificación (Montagnini 1992, Santos y Paiva 2002), protección de los suelos, producción de materia orgánica, suministro de agua, microclima ameno y protección de la biodiversidad (Rodrigues 2007). Con la amenaza del cambio climático, los sistemas agroforestales han sido claves para la adaptación y mitigación. Los sistemas agroforestales de café también aportan a la captura de CO₂ atmosférico (Torres *et al.* 2014) y además garantizan un microclima más favorable para el café.

Aunque los beneficios de los sistemas agroforestales son múltiples, es necesario entender los aspectos agroecológicos a la hora de combinar especies arbóreas y las diferentes variedades de café. Como lo afirma Budowski (1991), la coexistencia de más de una especie en una misma área debe estar referenciada por un nivel mínimo de interferencia negativa entre ellas. En este sentido se hace necesario ampliar los conocimientos sobre los procesos que sostienen la productividad de los cafetales en sistemas agroforestales.

Por lo anterior, el siguiente estudio busca comparar y evaluar el comportamiento vegetativo de *Coffea arabica* cv Caturra, bajo el efecto de la sombra de *Terminalia*

amazonia y *Erythrina poeppigiana* en manejo alto convencional, moderado convencional y orgánico intensivo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Lugar de estudio

El estudio fue desarrollado dentro de la finca del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), Turrialba, Costa Rica, en un área experimental de 9,2 ha de sistemas agroforestales (coordinadas 9°53'44" latitud norte, 83°40'7" longitud oeste), a una altitud de 600 msnm. Entre los años 2000 a 2011, la precipitación promedio fue de 3037 mm/año, la temperatura de 22°C, la humedad relativa del 89,6% y la radiación solar de 15,7 Mj/m². El suelo es de tipo aluvial mixto, con textura entre franco y franco-arcilloso.

Período de evaluación y sistemas evaluados

Se realizaron dos evaluaciones, la primera el 8 y 9 de febrero y la segunda entre el 13 y 14 de marzo del 2017. Los sistemas agroforestales con café evaluados fueron *Terminalia amazonia* (amarillón) con manejos alto convencional (AC), moderado convencional (MC), orgánico intensivo (MO) y *Erythrina poeppigiana* (poró) con manejos AC, MC, MO y pleno sol con manejos AC y MC. Todos los sistemas fueron estudiados en tres repeticiones. En cada unidad de muestreo se evaluaron 12 cafetos distantes y próximos a los árboles. Fueron evaluados en cada unidad experimental las plantas de café en un área de 28 m² alrededor de los árboles y otra área similar lejos de los árboles.

Escala de vigor de cafetos

La evaluación de vigor de cafetos se hizo tomando como referencia la escala de Merlo (2007) donde la categoría 1 (muy buen vigor), corresponde a las plantas que presentan más del 90% de su cobertura revestida de tejido productivo; la 2 (buen vigor), las plantas que presentan entre 70% y 89% de tejido productivo; la 3 (regular), plantas que presentan entre 50% y 69% de tejido productivo y la 4 (mal vigor), plantas que presentan menos del 50% de su cobertura revestida con tejido productivo.

Evaluación de variables de tejido de cafetos

Se evaluó el total de bandolas con flores, la cantidad total de nudos, el total de nudos vivos y el total de nudos con hojas y con flores con el fin de determinar la productividad de cada planta. Para cada cafeto las evaluaciones se hicieron en las direcciones norte, sur, este y oeste.

Análisis estadístico

Para este estudio se utilizó el análisis de varianza (ANOVA) para un diseño experimental de parcelas divididas en bloques completos al azar. Los promedios de las evaluaciones de total de nudos, de nudos vivos, de nudos con hojas y con flores fueron analizados por contraste no ortogonal, con nivel de significancia de 0,05. Para la evaluación de vigor fue utilizado el método de tabla de contingencia y análisis de correspondencia.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Vigor del café por sistemas

Los cafetos de Caturra con mejor vigor se dieron en el sistema *E. poeppigiana* AC bajo la categoría “muy bueno”. Los cafetos del sistema *E. poeppigiana* MC se ubicaron con el mejor valor en la categoría vigor bueno. Estos dos sistemas superaron todos los demás, incluyendo los tratamientos de pleno sol. El sistema *E. poeppigiana* MO se ubicó en la categoría de regular con el mejor valor, seguido del sistema *T. amazonia* MO; mientras que, en la escala de mal vigor, el peor resultado se verificó en los cafetos del sistema *T. amazonia* MC. Otro sistema con los peores resultados en cuanto a vigor fue el de *T. amazonia* AC (Figura 1).

Total de nudos, hojas y flores

Al comparar entre sistemas con sombra y pleno sol, se observó que *E. poeppigiana* supera el número de nudos, nudos vivos, nudos con hojas y nudos con flores a los sistemas de pleno sol y *T. amazonia*. Los análisis determinaron además que los cafetos cerca de los árboles en los sistemas con *E. poeppigiana* presentaron valores más altos para el total de nudos, nudos vivos y nudos con hojas; mientras que para la variable flores no hubo diferencia entre cerca y lejos del árbol. Para los sistemas con *T. amazonia*, los valores de nudos vivos y nudos con hojas fueron mayores cerca de los árboles, y para el total de nudos y nudos con flores no hubo diferencia entre cerca y lejos de los árboles (Cuadro 1).

Cuando se compararon los manejos alto convencional (AC) y moderado convencional (MC), no hubo diferencia en cuanto al total de nudos, nudos vivos, nudos con hojas y nudos con flores, resultado muy positivo pues el moderado convencional, aun con menor cantidad de insumos, logra presentar resultados competitivos con relación al manejo convencional de altos insumos. Cuando se comparan los sistemas convencionales y los orgánicos, los primeros presentaron valores mayores para el total de nudos, nudos vivos, nudos con hojas; sin embargo, no hubo diferencia entre ambos manejos en cuanto al número de flores (Cuadro 1).

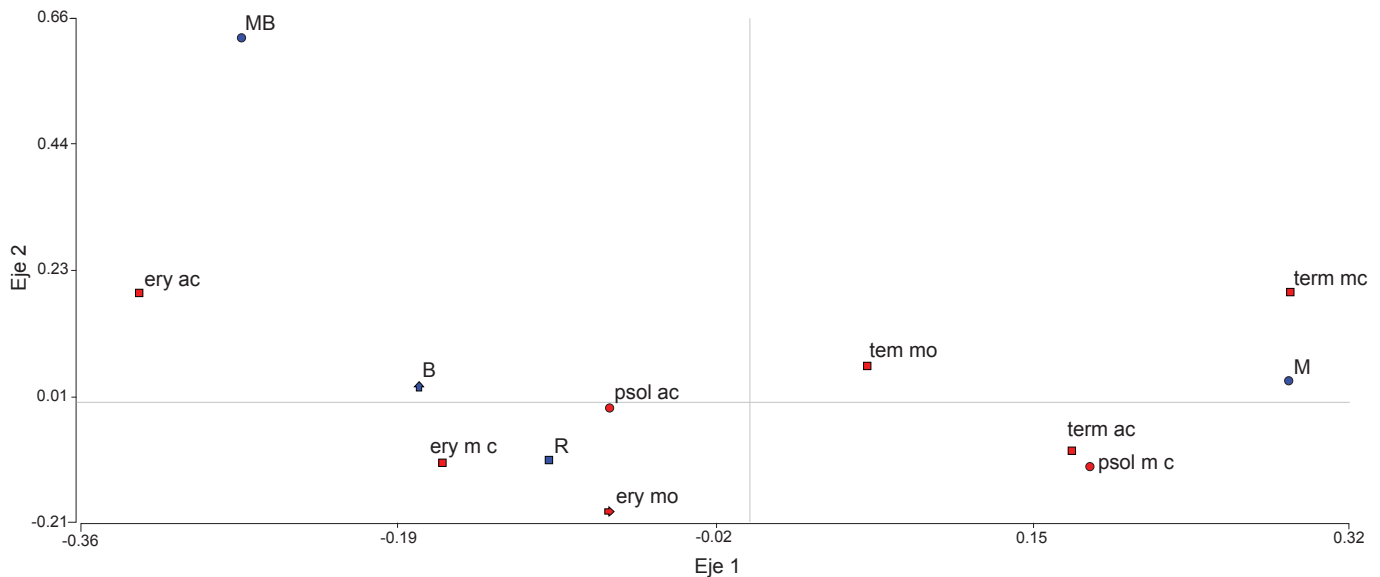


Figura 1. Gráfico de análisis de contingencia para escala de vigor de plantas de *Coffea arabica*, vr Caturra asociada con *Terminalia amazonia*, *Erythrina poeppigiana* y pleno sol. Ensayo de largo plazo en sistemas agroforestales con café, Turrialba, Costa Rica

Vigor de plantas: MB= muy bueno, B= bueno, R= regular, M= malo.

Tratamientos: ery ac= *E. poeppigiana* AC, ery mc= *E. poeppigiana* MC, ery mo= *E. poeppigiana* MO, psol ac= pleno sol AC, psol mc= pleno sol MC, term ac= *T. amazonia* AC, term mc= *T. amazonia* MC, term mo= *T. amazonia* MO

Cuadro 1. Contrastes no ortogonales con nivel de significancia 0,05 para nudos, nudos vivos, nudos con hojas y nudos con flores en plantas de café del ensayo de largo plazo en sistemas agroforestales con café, Turrialba, Costa Rica

Contraste	Total de nudos	Nudos vivos	Nudos con hojas	Nudos con flores
Sombra x sol	<i>Erythrina</i> (0.0105)	<i>Erythrina</i> (0.0066)	<i>Erythrina</i> (0.0014)	<i>Erythrina</i> (<0.0001)
<i>Erythrina</i> x <i>Terminalia</i>	<i>Erythrina</i> (0.0105)	<i>Erythrina</i> (0.0066)	<i>Erythrina</i> (0.0014)	<i>Erythrina</i> (<0.0001)
<i>Erythrina</i> próximo al árbol x distancia	Próximo si <i>Erythrina</i> (0.0171)	Próximo si <i>Erythrina</i> (0.0134)	Próximo si <i>Erythrina</i> (0.0061)	No fue relevante
<i>Terminalia</i> próximo al árbol x distancia	No fue relevante	Próximo (0.0408)	Próximo (<0.0001)	No fue relevante
Manejo AC x manejo MC	No fue relevante	No fue relevante	No fue relevante	No fue relevante
Manejo convencional x manejo orgánico	Convencional (0.0469)	Convencional (0.0384)	Convencional (0.0227)	No fue relevante

AC: Alto convencional
MC: Moderado convencional

Para la evaluación realizada por Merlo (2007), en el ensayo de largo plazo de sistemas agroforestales de CATIE, el vigor muy bueno (categoría 1) fue determinado para los sistemas con *T. amazonia* manejo MO y *E. poeppigiana* manejo AC. En el presente estudio, realizado diez años después, el sistema *E. poeppigiana* manejo AC mantuvo la escala de muy buen vigor, mientras el *T. amazonia* MO se distanció de esta categoría ubicándose más hacia la categoría regular. Por otro lado, al igual que en 2007, el sistema *T. amazonia* MC diez años después se mantuvo en la categoría de mal vigor. A su vez, el sistema *E. poeppigiana* con manejo MC pasó de la categoría muy buen vigor en el 2007 a la de buen vigor en el 2017.

Cuando se revisó el comportamiento del vigor productivo, que guarda una relación con la presencia de tejido vivo, para los primeros 10 años del ensayo de largo plazo Salgado (2010), determinó que entre los nueve mejores sistemas (del total de 20 estudiados) cinco correspondían a *E. poeppigiana* bajo sombra. Para el año 2016, Soncim (2017) reporta que *E. poeppigiana* era parte de los seis mejores nueve sistemas en cuanto al promedio acumulado de producción. Lo anterior está en consonancia con los resultados del presente estudio que indica la importancia de esta especie en la generación de mayor cantidad de tejido productivo (nudos vivos, hojas y flores), en relación a los sistemas a pleno sol y con sombra de maderable (*T. amazonia*).

Los mejores resultados de vigor productivo de Caturra se presentaron en sistemas con *E. poeppigiana*. Esto puede ser explicado por la combinación de tres factores

ya estudiados en el ensayo anteriormente. Primero la facilidad de poder regular la entrada de luz, práctica realizada dos veces al año en el experimento y que permite mantener el rango de cobertura de sombra ideal (45% a 55%, Merlo 2007), más fácilmente que en los demás sistemas. Por otro lado, también hay aportes importantes de nutrientes vía biomasa aérea proveniente de la poda de los árboles de *E. poeppigiana* (Merlo 2007, Montenegro 2005). De forma complementaria, en un estudio reciente en el mismo experimento, Sauvadet *et al.* (2019) confirmó que luego de 17 años del establecimiento de las parcelas de producción de café, los sistemas con *E. poeppigiana* experimentan una mejora importante en las condiciones del suelo, en particular por la fijación de nitrógeno y un mejor equilibrio en la microfauna. Por otro lado, los suelos sin *E. poeppigiana*, y en especial con manejos convencionales, presentaron bajos contenidos de N orgánico, mayor acidez y una mayor densidad de nemátodos. Además, Sauvadet *et al.* (2019) indicaron que los sistemas con *E. poeppigiana* en manejos orgánicos presentaron mejores condiciones de suelo que los demás sistemas convencionales y en especial con solo *T. amazonia* como sombra.

Cuando se comparó Caturra en diferentes tipos de manejo, el presente estudio encontró que en manejo convencional los cafetos presentaron mayor cantidad de tejido productivo (nudos vivos y hojas) que en los manejos orgánicos. Los estudios de Salgado (2010) y Soncim (2017) indicaron también que la mayoría (7) de los sistemas con mejor vigor productivo se encontraron en sistemas con manejo convencional, y solo dos eran orgánicos. Lo anterior tiene la particularidad de que en

los primeros 10 años los mejores sistemas orgánicos fueron *T. amazonia* con manejo orgánico intensivo (MO) y *E. poeppigiana* con manejo orgánico intensivo (MO); para el 2017 (16 años de evaluación), los mejores sistemas de Caturra en manejo orgánico eran el *E. poeppigiana* MO y el *E. poeppigiana* BO. La Figura 2 ilustra la comparación de vigor de la variedad Caturra en sistemas contrastantes de asocio con *T. amazonia* y *E. poeppigiana*, ambos con el mismo manejo MO.

Cuando se comparó Caturra en los dos sistemas convencionales (AC y MC), el presente estudio no encontró diferencias significativas en cuanto al número de nudos totales, nudos vivos, nudos con hojas y flores. Aunque en los estudios de Salgado (2010) y Soncim (2017), la mayoría de los mejores sistemas en vigor productivo eran de manejo alto convencional (AC). Es importante destacar que, en los estudios de rentabilidad financiera presentados por ambos autores, los sistemas moderados convencionales MC (Psol, *E. poeppigiana* + *T. amazonia*, *E. poeppigiana*, *T. amazonia*, *Chloroleucon eurycyclum*.), están entre los más rentables. Lo anterior constituye una conclusión muy importante pues los MC son de menor costo productivo y de mejores resultados en cuanto a impactos ambientales.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Los sistemas de Caturra con *E. poeppigiana* bajo sombra, tanto en manejo convencional como en manejo orgánico, tuvieron los mejores resultados de vigor (% de tejido productivo, cantidad de nudos vivos, hojas y flores) que los presentados por sistemas en pleno sol o con sombra de maderable (*T. amazonia*).

Los sistemas con Caturra en sombra exclusiva de maderable (*T. amazonia*), tanto en manejos moderados convencionales (MC) como en altos convencionales (AC), presentaron los peores resultados de vigor de cafetos.

Diferentes estudios fortalecen el rol de los sistemas con *E. poeppigiana* en función de las facilidades de regulación de la entrada de luz, aporte de nutrientes vía biomasa aérea y fijación de N en el suelo.

Aunque la mayoría de los sistemas alto convencionales (AC) presentaron buen vigor de tejidos productivos, es importante destacar que hay sistemas moderados convencionales (con menor carga de agroquímicos) y orgánicos bajos e intensivos (sin químicos), que presentan tanto buen vigor de tejido productivo y buenas producciones y rentabilidad (*E. poeppigiana* -BO; *E.*

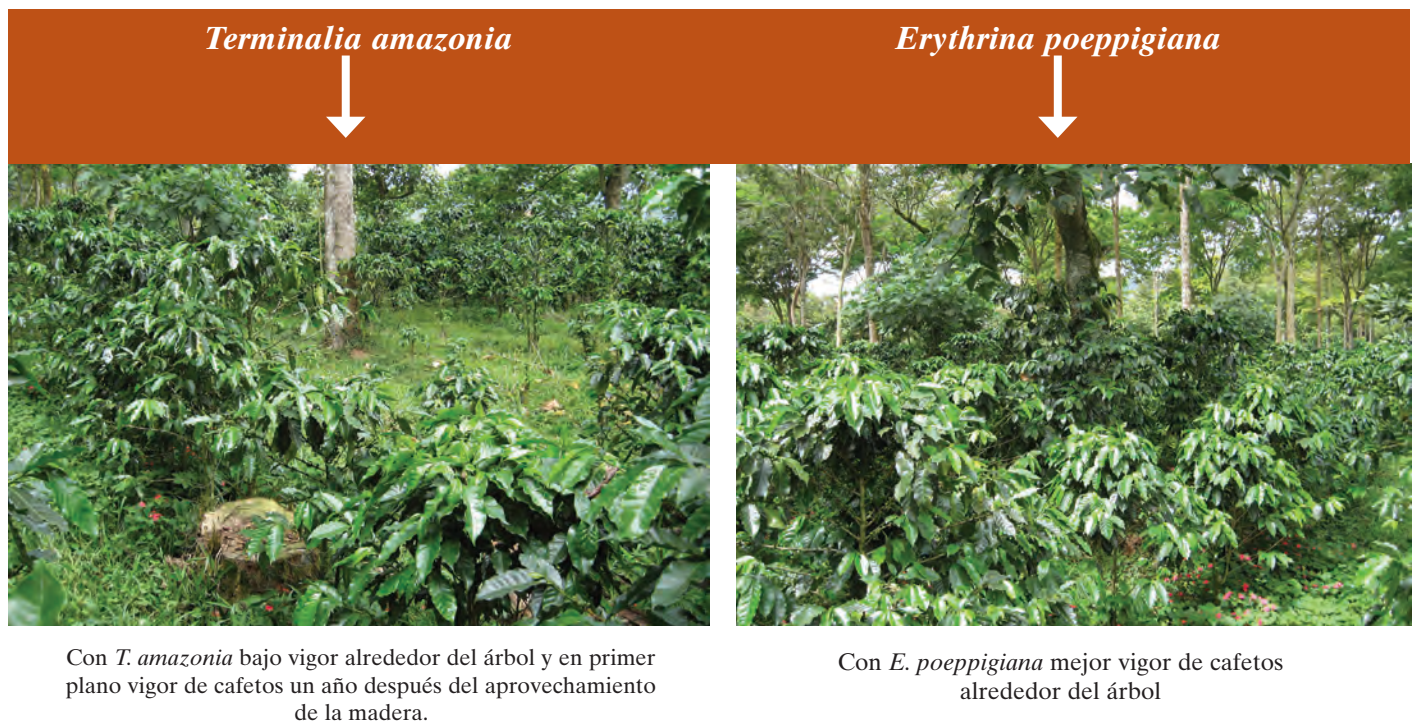


Figura 2. Sistemas agroforestales con el mismo manejo agronómico (MO) con doce años de edad, ensayo de largo plazo en sistemas agroforestales con café (Caturra), Turrialba, Costa Rica. Fotos: E. de M. Virginio Filho (2012)

poeppigiana -MO; *E. poeppigiana* -MC, PSol-MC; *E. poeppigiana* + *T. amazonia* -MC y *T. amazonia* -MC).

Las conclusiones fortalecen los criterios de que hay alternativas para promover el diseño y manejo de sistemas agroforestales que permitan mayor resiliencia, mejor capacidad adaptativa, menor dependencia y/o sustitución de agroquímicos. Promover en los programas institucionales de fortalecimiento de capacidades una mejor base teórico-práctica de técnicos y familias productoras es clave para la masificación de sistemas agroforestales con mayor potencial de sostenibilidad ambiental, económica y social.

Ampliar los estudios que consideren el comportamiento de nuevas variedades mejoradas de café bajos sistemas agroforestales que tengan como sombra árboles de servicio (solos o combinados con maderables y frutales), con diseños y manejos adecuados.

BIBLIOGRAFÍA

- Budowski, G. 1991. Aplicabilidade dos sistemas agroflorestais. In Seminário sobre planejamento de projetos auto-sustentáveis de lenha para América Latina e Caribe. v. 1. Turrialba, Costa Rica, FAO p. 161-167.
- Fernandes, A; Partelli, F; Bonomo, R; Golynski, A. 2012. A moderna cafeicultura dos cerrados brasileiros. Pesq. Agropec. Trop., Goiania 42(2):231-240.
- Haggar, J. 2007. Shade-Productivity Interactions in Coffee Agroforestry Trials in Costa Rica and Nicaragua. Turrialba, Costa Rica, CATIE.
- Haggar J. 2005. Investigación regional para una caficultura ecológica y diversificada. Turrialba, Costa Rica, CATIE.
- Merlo, CME. 2007. Comportamiento productivo del café (*Coffea arabica* var *Caturra*), el poró (*Erythrina poeppigiana*), el amarillón (*Terminalia amazonia*) y el cashá (*Chloroleucon eurycyclum*) en sistemas agroforestales bajo manejos convencionales y orgánicos en Turrialba. Tesis Mag Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 81 p.
- Montagnini, F. 1992. Sistemas agroforestales: principios y aplicaciones en los trópicos. San José, Costa Rica, Organización para Estudios Tropicales. 622 p.
- Montenegro, E. 2005. Efecto del aporte de nutrientes de la biomasa de tres tipos de árboles de sombra en sistemas de manejo de café orgánico y convencional. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 63 p.
- Pohlan, HAJ; Janssens, MJJ. 2010. Growth and Production of Coffee. In Verhey, WH (ed.). Soils, plant growth and crop production, vol 3. s. l. EOLSS. p. 102-134.
- Rodrigues, ER. 2007. Avaliação econômica de sistemas agroflorestais implantados para recuperação de reserva legal no Pontal do Paranapanema, São Paulo. Sociedade de Investigações Florestais 31:941-948.
- Salgado, JL. 2010. Fijación de carbono en biomasa aérea y rentabilidad financiera de sistemas agroforestales con café en Turrialba, Costa Rica y Masatepe, Nicaragua. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 109 p.
- Santos, MJC; Paiva, SN. 2002. Os sistemas agroflorestais como alternativa econômica em pequenas propriedades rurais: estudo de caso. Ciência Florestal 12:135-141.
- Sauvadet, M; Van Meersche, K; Allinne, C; Gay, F; Virginio Filho, E.de.M; Chauvat, M; Becquer, T; Tixier, P; Harmand, J. 2019. Shade trees have higher impact on soil nutrient availability and food web in organic than conventional Coffee agroforestry. Science of the Total Environment 649:1065-1074.
- Soncim, I. 2017. Rentabilidade econômica de sistemas agroflorestais com café: estudo de longo prazo em Turrialba, Costa Rica. Tesis Ing Forestal. Sao Paulo, Universidad de Sao Paulo. Piracicaba, Brasil, USP. 32 p.
- Torres, C; Jacovine, L; Oliveira Neto, S; Brianezi, D; Alves, E. 2014. Sistemas agroflorestais no Brasil: uma abordagem sobre a estocagem de carbono. Pesquisa Florestal Brasileira 34:235-244.

Avances de Investigación

Rentabilidad económica de sistemas agroforestales con café: estudio de largo plazo en Turrialba, Costa Rica*

Isabella Q. Soncim¹, Elias de Melo Virginio Filho², Ciro A. Righi³, Ricardo Shiota³

RESUMEN

El cultivo del café es de relevancia económica alta e involucra un número importante de productores, en su mayoría pequeños. El avance de enfoques intensivos de producción ha estimulado la retirada del componente arbóreo del sistema café generando una alta dependencia de insumos químicos. Se sabe de la importancia de la sombra para la calidad del café y promoción de servicios ambientales. El objetivo de la investigación fue evaluar la rentabilidad económica de sistemas bajo sombra y a pleno sol, bajo diferentes niveles de manejo e insumos orgánicos y convencionales. El estudio fue desarrollado en el 2017 en el ensayo de sistemas agroforestales con café, en el CATIE, Turrialba, Costa Rica, establecido en el 2000. Se evaluaron 20 sistemas con la variedad Caturra (18 agroforestales y 2 en pleno sol) con manejos convencionales (AC= Alto y MC= Moderado) y orgánicos (MO= Intensivo y BO= Bajo). El diseño experimental del estudio fue un factorial incompleto, con bloques completos al azar, con tres repeticiones. El análisis económico consideró valor actual neto (VAN) y la relación costo-beneficio. Como resultados principales se determinó que en los primeros 16 años del estudio, 19 sistemas son rentables, con la excepción del maderable (*Terminalia amazonia*) con manejo BO. Los sistemas PSol-AC y árbol de servicio (*Erythrina poeppigiana*)-AC presentaron los indicadores más altos. Aunque los sistemas orgánicos MO presentaron mayores costos de mano de obra, el asoció con otras especies contribuyó a una mejor rentabilidad. Los sistemas orgánicos presentaron una rentabilidad menor que los convencionales, a excepción del E-BO que ocupó los primeros lugares. Considerando la importancia de los sistemas orgánicos y convencionales con árboles, es determinante considerar el fortalecimiento y expansión de mecanismos de incentivo y promoción de estos cafés dada su relevancia ambiental y social.

Palabras clave: VAN, costo-beneficio, productividad, diversificación, café orgánico.

ABSTRACT

Coffee is of high economic relevance and involves a significant number of producers, mostly smallholders. The advance of intensive production approaches has stimulated the removal of the tree component from the coffee system, generating a high dependence on chemical inputs. The importance of shade for coffee quality and the promotion of environmental services is known. The objective of the research was to evaluate the economic profitability of systems with shade and full sun, under different levels of management and organic and conventional inputs. The study was carried out in 2017 in the trial of agroforestry systems with coffee, at CATIE, Turrialba, established in 2000. Twenty systems were evaluated with the Caturra variety (18 agroforestry and 2 in full sun) with conventional management (AC = High and MC = Moderate) and organic (MO = Intensive and BO = Low). The experimental design of the study was an incomplete factorial, with complete random blocks, with three repetitions. The economic analysis considered net present value (NPV) and the cost-benefit relationship. As main results it was determined that in the first 16 years of the study 19 systems are profitable, with the exception of the timber system (*Terminalia amazonia*) with BO management. The PSol-AC and service tree (*Erythrina poeppigiana*)-AC systems presented the highest indicators. Although MO organic systems presented higher labor costs, association with other species contributed to better profitability. Organic systems had lower returns than conventional ones, with the exception of the E-BO that ranked first in profitability. Considering the importance of organic and conventional systems with trees, it is decisive to consider the strengthening and expansion of incentive and promotion mechanisms for these coffees given their environmental and social relevance.

Keywords: NPV, cost-benefit, productivity, diversification, organic coffee.

INTRODUCCIÓN

Mercado de café

El café es el segundo *commodity* más importante del mundo, estando atrás solamente del petróleo (O'Brien y Kinnaird 2003). Este cultivo se encuentra distribuido en más de 70 países, en su mayoría en vías de desarro-

llo; 60% de la producción se da en Brasil, Vietnam y Colombia (FAO 2015, ICO 2015). El sistema productivo involucra aproximadamente a 25 millones de personas alrededor del mundo y es producido predominantemente por pequeños agricultores (Donald 2004).

* Trabajo presentado en el XXIV Simposio Latinoamericano de caficultura, Guatemala 2019, PROMECAFE, ANACAFE

1 USP/ESALQ-Universidad de Sao Paulo/Escuela Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Brasil; isapitaia@gmail.com

2 CATIE-PROCAGICA-IICA-UE, Costa Rica

3 USP/ESALQ-Universidad de Sao Paulo/Escuela Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Brasil

La producción mundial estimada de café para los años 2016/2017 fue de 153,9 millones de sacos, record hasta entonces (ICO 2015). Para la economía de muchos países, y en particular para la generación de ingresos de muchas familias, las exportaciones juegan un rol muy importante (ITC 2011). En el 2012 las exportaciones totales generaron un valor de 24 mil millones de dólares. En el 2005 las exportaciones en el mundo, contabilizaron 5,1 mil millones de dólares (FAO 2015).

Aunque la agricultura en general está siendo muy afectada por una recesión económica en la última década, la producción de café crece a una tasa de 3,5% al año desde el 2008 (FAO 2015). Las exportaciones, en su mayoría, han sido hacia Estados Unidos y Europa; sin embargo, en las últimas dos décadas el consumo nacional en muchos países productores ha crecido considerablemente. En África y algunos países de América Central todavía los mercados internos no han sido bien aprovechados (ITC 2011).

Sistemas de producción de café y la sostenibilidad

Los bajos precios que reciben los productores en los últimos años han limitado los alcances de un manejo integral adecuado para un grupo importante de familias productoras (Aide y Grau 2004, Donald 2004). Pero hay fincas que por diferentes razones han podido intensificar y/o ajustar sus prácticas de manejo y gestión para lograr mejores resultados (Jha 2014).

Los sistemas de producción cafetaleros, en varios países, están ubicados en zonas de alta importancia para la biodiversidad (Myers *et al.* 2000). La producción bajo sistemas agroforestales, asociados a otras prácticas sostenibles de uso del territorio, es determinante para la sostenibilidad. En algunas regiones, los cafetales a pleno sol han contribuido a generar mayor estrés a la planta, incrementar la dependencia de insumos externos y, a su vez, han generado afectaciones en la acidez de suelos y calidad de granos, entre otros aspectos negativos (Voltan *et al.* 1992, Castro-Tanzi 2012).

En el contexto de cambio climático, los sistemas agroforestales bien diseñados y manejados, tienen una base de referencia para fortalecer la capacidad adaptativa de los cafetales, reducir la dependencia de generar ingresos de un solo producto (diversificación: alimentos, frutas, madera) y promover la estabilidad productiva del café a lo largo del tiempo (Moguel y Toledo 1999, Bacon 2005). La producción de madera en los cafetales puede además contribuir a reducir la presión por el aprovechamiento

forestal en áreas de bosques naturales (Blackman 2003, Gordon 2007, Rice 2008).

Síntesis de la producción de café en Costa Rica

Para el período 2016-2017, Costa Rica ocupó la 14ª ubicación entre los países productores contribuyendo con el 1% de la producción mundial. Durante este período, de los 1774 millones de sacos producidos, el 80,13% se exportó y el 16,81% se consumió a nivel nacional. El aporte al PIB fue de 0,41% (ICAFE 2016). Para el 2014, el país contaba con 52 mil agricultores, en su mayoría de pequeña escala, con un área total de 93 mil hectáreas, lo que confirmó la tendencia a la reducción del área productiva, cuando en la década de los 90's era de 115 000 ha (ICAFE 2016, FAO 2015).

Costa Rica ha experimentado diferentes estrategias para hacer frente a las limitaciones de los productores causadas por los precios. Para esto, el país ha tratado de incursionar en mercados diferenciados (por su calidad), generar alta productividad a través de un capital intensivo en tecnologías, reducir los costos y generar menor dependencia de insumos externos, promoviendo la diversificación y el valor agregado, orgánico y ambientalmente amigable (Topik *et al.* 2010).

Rentabilidad

La rentabilidad financiera es el retorno de la inversión, o sea la capacidad de generar ganancias en relación a costos de implementación y manejo. El análisis considera costos y beneficios actualizados de un proyecto productivo a largo plazo, y posibles comparaciones con el costo de oportunidad del uso de la tierra y/o con rendimiento de otras actividades alternativas. El análisis permite apoyar la decisión con base en la viabilidad de los resultados (Gómez y Quirós 2001).

Sánchez (1995) indica que las investigaciones agroforestales deberían tomar en consideración los principios de concurrencia y complejidad de los sistemas de producción a fin de construir los elementos que permiten rentabilidad y sostenibilidad. Los sistemas más complejos podrían permitir generar más ganancias económicas y más sustentabilidad ecológica, en comparación con sistemas simplificados intensivos y a plena exposición solar, los cuales generan altos costos de producción (Hagggar *et al.* 2011) y consecuentemente mayor sensibilidad económica (Gordon 2007).

Por otro lado, se ha expresado la necesidad de fortalecer el entendimiento sobre cómo evaluar económicamente

sistemas agroforestales cafetaleros en comparación con diferentes enfoques y sistemas de producción (Rice y Ward 1996). En este sentido, el presente estudio se propone aportar consideraciones comparativas sobre la viabilidad económica de 20 sistemas productivos diferenciados de café, bajo diferentes diseños (con y sin asocio con diferentes tipos de árboles) y manejos (convencionales y orgánicos en diferentes intensidades), a partir de resultados experimentales de largo plazo.

El objetivo fue analizar resultados comparativos de la rentabilidad de diferentes enfoques y sistemas de producción de café con y sin asocio con árboles en condiciones experimentales de largo plazo en una zona baja húmeda de Costa Rica.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización

El estudio fue desarrollado en el experimento iniciado en agosto del 2000 en un área de 9,2 hectáreas ubicadas en el Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), Turrialba, Costa Rica. El área se encuentra a 600 msnm, con una precipitación promedio anual superior a 2600 mm y una temperatura promedio de 22°C; no tiene estación seca definida. Los suelos, con limitaciones iniciales de drenaje, están clasificados como aluviales mixtos, Ultisol e Inceptisol con capa fértil de 10 a 30 centímetros y textura franco-arcillosa (Merlo 2007).

Caracterización del diseño experimental

El ensayo de largo plazo está conformado por siete tratamientos/parcelas (seis tratamientos con sombra y un tratamiento bajo sol). Las especies arbóreas para los tratamientos de sombra son *Erythrina poeppigiana* (poró), como árbol de servicio fijador de nitrógeno, *Chloroleucon eurycyclum* (cashá), como árbol maderable fijador de

nitrógeno y *Terminalia amazonia* (amarillón), como árbol maderable no fijador de nitrógeno. Inicialmente los árboles fueron sembrados a una densidad promedio de 417 árboles/ha, pero a partir del 2007 la densidad se redujo en diferentes momentos buscando equilibrio entre producción de café y desarrollo de los árboles. Para el 2011, la densidad promedio de *E. poeppigiana* era de 187 árboles/ha y la de los maderables era de 109 árboles/ha en promedio. Por otro lado, las parcelas experimentales fueron divididas en subparcelas/subtratamientos con cuatro diferentes tipos de manejos/insumos (AC= alto convencional; MC= moderado convencional; MO= orgánico intensivo; BO= bajo orgánico). Las parcelas (7) y sus subparcelas (20) están presentes en tres repeticiones (bloques) totalizando 60 unidades experimentales. El diseño experimental consiste en un factorial incompleto ya que los cuatro tipos de manejo/insumos (Cuadro 1) no están presentes en todas las parcelas (Cuadro 2). La variedad principal de café es Caturra sembrada a 2 x 1 m.

Rentabilidad

Para el análisis financiero se utilizaron como referentes las evaluaciones del valor actual neto (VAN) y la relación beneficio-costos (B/C). Para ambos indicadores fueron consideradas la variación del capital en el tiempo (de Revende y de Oliveira 2008). Para cada sistema fueron estimados el flujo de caja y estados de resultados. Los costos considerados fueron: mano de obra y cargas salariales, fertilización, control de plagas y enfermedades, control de hierbas, herramientas y equipos, resiembras y cosecha. Para los ingresos fueron contabilizados la venta de café y madera en diámetros menores productos de los raleos (la madera para corta final presente en el campo no fue considerada en la evaluación). El período evaluado en el análisis fue el comprendido entre el año 2000 y el 2016.

Cuadro 1. Caracterización de los manejos/insumos realizados en el ensayo de largo plazo en sistemas agroforestales con café, Turrialba, Costa Rica

Prácticas	AC	MC	MO	BO
Fertilización al suelo	NPK (18-5-15) 2 veces/año (100 g/caféto) + 1 de nitrato de amonio (103,8 kg/ha)	NPK (18-5-15) 2 veces/año (50 g/café) + 1 nitrato de amonio (60,3 kg/ha)	Compost-gallinaza (10 ton/ha) 2 kg/caféto/año en dos aplicaciones	Pulpa de café (5 ton/ha) 1kg/caféto/año en dos aplicaciones
Fertilización foliar	Mezcla con B + Zn, 2 veces al año	Mezcla con B + Zn, 2 veces al año en menor dosis	Biofertilizante 2 veces al año	Biofertilizante 1 vez al año
Control de plagas	Químico (insecticidas, fungicidas sistémicos y cobre) 3 veces/año	Químico (insecticidas, fungicidas sistémicos, cobre) 2/año según necesidad	Caldo bordelés <i>Beauveria bassiana</i> 3 veces/año	Caldo bordelés <i>Beauveria bassiana</i> 1/año según necesidad
Control de hierbas	Químico eliminación de hierbas	Químico + mecánico selectivo c/ cobertura	Mecánico selectivo c/ cobertura	Mecánico selectivo c/ cobertura

AC: Alto convencional; MC: Moderado convencional; MO: Intensivo orgánico; BO: Bajo orgánico

Cuadro 2. Tratamientos/parcelas y subtratamientos/subparcelas experimentales en el ensayo de largo plazo en sistemas agroforestales con café, Turrialba, Costa Rica

Parcelas principales de los sistemas evaluados	Subparcelas			
	AC	MC	MO	BO
(E) <i>Erythrina poeppigiana</i> (poró), árbol de servicio fijador de N	X	X	X	X
(C) <i>Chloroleucon eurycyclum</i> (cashá), árbol maderable fijador de N		X	X	
(T) <i>Terminalia amazonia</i> (amarillón), árbol maderable no fijador de N	X	X	X	X
(CT) <i>T. amazonia</i> + <i>C. eurycyclum</i>		X	X	
(ET) <i>T. amazonia</i> + <i>E. poeppigiana</i>		X	X	
(CE) <i>C. eurycyclum</i> + <i>E. poeppigiana</i>	X	X	X	X
(PSOL) Café a pleno sol	X	X		

AC: Alto convencional; MC: Moderado convencional; MO: Intensivo orgánico; BO: Bajo orgánico

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Estructura de costos

Para todos los sistemas el costo mayor fue atribuido a la mano de obra para poder realizar las distintas labores. Le siguen en orden descendente, los insumos para fertilización y control de plagas/enfermedades, el control de malezas (herbicidas, combustible, entre otros), resiembra (plantines) y la compra de herramientas y equipos. El sistema de mayor costo fue el PSOL-AC, seguido por C-MO y T-MO y los que presentaron el costo menor fueron el E-BO, ET-MC y E-MC (Cuadro 3).

Ingresos acumulados de café y madera

Considerando los ingresos totales por hectárea, el sistema PSOL-AC presentó el mayor valor (64 400 154,95 colones/ha), seguido del E-AC (54 105 377,0 colones/ha) y el PSOL-MC (52 645 582,6 colones/ha). De los sistemas agroforestales, el E-AC fue el que más ingresos generó, seguido respectivamente por CE-AC (44 522 611,14 colones/ha) y el T-AC (38 617 300,19 colones/ha). Los sistemas agroforestales orgánicos que obtuvieron los mayores ingresos fueron E-MO (37 985 968,37 colones/ha), E-BO (32 599 899,12 colones/ha) y el CE-MO

Cuadro 3. Costos totales acumulados (colones*/ha/sistema) durante un periodo de 16 años del ensayo de largo plazo en sistemas agroforestales con café, Turrialba, Costa Rica

Sistema	Mano de obra	Fertilizantes/ control de plagas	Control de hierbas	Herramientas	Resiembra	Total acumulado	Promedio anual
PSOL-AC	18 680 013,3	6 654 428,2	624 217,0	48 847,8	766 249,9	26 773 756,1	1 673 359,8
C-MO	19 883 071,6	2 154 500,0	378 292,2	48 847,8	566 338,7	23 031 050,3	1 439 440,6
T-MO	19 593 813,3	2 154 500,0	407 807,8	48 847,8	566 338,7	22 771 307,6	1 423 206,7
PSOL-MC	16 921 989,0	3 849 326,4	572 495,6	48 847,8	422 618,9	21 815 277,6	1 363 454,9
T-AC	12 887 238,5	6 654 428,2	408 591,8	48 847,8	766 249,9	20 765 356,1	1 297 834,8
CE-MO	17 304 526,6	2 154 500,0	262 350,1	48 847,8	566 338,7	20 336 563,3	1 271 035,2
T-BO	18 999 066,1	604 766,8	391 758,1	48 847,8	287 038,0	20 331 476,9	1 270 717,3
E-MO	16 916 030,1	2 154 500,0	204 780,7	48 847,8	566 338,7	19 890 497,4	1 243 156,1
ET-MO	16 715 855,5	2 154 500,0	273 667,0	48 847,8	566 338,7	19 759 209,0	1 234 950,6
CE-AC	11 826 418,9	6 654 428,2	319 967,1	48 847,8	766 249,9	19 615 911,9	1 225 994,5
E-AC	11 571 137,9	6 654 428,2	264 705,1	48 847,8	766 249,9	19 305 368,9	1 206 585,6
CT-MO	15 737 242,9	2 154 500,0	366 118,4	48 847,8	566 338,7	18 873 047,9	1 179 565,5
C-MC	13 429 100,8	3 849 326,4	308 722,0	48 847,8	422 618,9	18 058 615,8	1 128 663,5
T-MC	13 180 543,5	3 849 326,4	367 811,0	48 847,8	422 618,9	17 869 147,5	1 116 821,7
CE-BO	16 357 222,2	604 766,8	293 854,1	48 847,8	287 038,0	17 591 728,8	1 099 483,1
CT-MC	12 911 573,4	3 849 326,4	255 189,4	48 847,8	422 618,9	17 487 555,8	1 092 972,2
CE-MC	12 757 684,7	3 849 326,4	308 576,3	48 847,8	422 618,9	17 387 054,0	1 086 690,9
E-MC	11 546 910,2	3 849 326,4	236 646,5	48 847,8	422 618,9	16 104 349,8	1 006 521,9
ET-MC	11 399 669,9	3 849 326,4	248 112,3	48 847,8	422 618,9	15 968 575,2	998 036,0
E-BO	13 216 143,5	604 766,8	210 651,4	48 847,8	287 038,0	14 367 447,5	897 965,5

*Equivalencia 548,18 colones= 1 dólar

 E: *E. poeppigiana*; C: *C. eurycyclum*; T: *T. amazonia*; CT: *C. eurycyclum* + *T. amazonia*; ET: *E. poeppigiana* + *T. amazonia*; CE: *C. eurycyclum* + *E. poeppigiana*; PSOL: Café a pleno sol; AC: Alto convencional; MC: Moderado convencional; MO: Intensivo orgánico; BO: Bajo orgánico

(30 685.565,4 colones/ha). Los sistemas con los ingresos menores fueron el T-BO (9 646 716,05 colones/ha), seguido por el ET-MO (25 354 186,19 colones/ha) y el CT-MO (25 480 544,14 colones/ha) (Cuadro 4).

Rentabilidad de los sistemas

Para el cálculo del VAN se utilizó una tasa de descuento del 8%, común en estudios para Costa Rica.

De los 20 sistemas evaluados, solo el T-BO no fue rentable a lo largo del período (16 años), (VAN negativo y una relación B/C menor que uno). El sistema PSOL-AC presentó los valores mayores de VAN (59 605 722 colones/ha) y B/C (2,5), seguido muy de cerca por el sistema E-AC (VAN=59 311 742 colones/ha) y un B/C de 2,4. También con valores de rentabilidad financiera muy buenos están los sistemas PSOL-MC (VAN= 47 299 920 colones/ha; B/C= 2,1), CE-AC (VAN=43 740 085 colones/ha; B/C=2,07), E-BO (VAN=36 439 790 colones/ha; B/C= 2) y ET-MC (VAN=32 607 055; B/C=1,99). Los sistemas agroforestales que alcanzaron las mejores rentabilidades financieras fueron los E-AC, CE-AC, E-BO y ET-MC. Los sistemas C-MO (VAN= 703 320 colones/ha; B/C= 1,01) y T-MO (VAN=2 281 050; B/C=1,05), fueron los que generaron menor rentabilidad (Cuadro 5). Es importante indicar que la rentabilidad alcanzada por los sistemas

orgánicos podría haber sido mejor si la venta hubiera incorporado el sobreprecio por concepto de este manejo; sin embargo, por cuestiones de logística y de ausencia de certificación orgánica comercial del experimento, la venta se hizo a precio convencional. Simulaciones con sobreprecio orgánico mejoraron la rentabilidad de los sistemas orgánicos y en especial de los sistemas E-BO, E-MO, CE-BO y CE-MO.

La mayor rentabilidad financiera obtenida por los sistemas PSOL-AC y E-AC coincide con los resultados de Salgado (2010) quien evaluó financieramente los primeros 10 años del ensayo. En el año 2010 los seis sistemas más rentables se completaron con los sistemas CE-AC, PSOL-MC, T-AC y ET-MC. En este estudio, los seis sistemas más rentables corresponden a PSOL-AC y E-AC, además de PSOL-MC, CE-AC, E-BO y ET-MC. En ambos estudios, el sistema PSOL-AC alcanzó el mayor costo, alcanzando para el estudio el mayor costo acumulado. Al igual que en el estudio de Salgado (2010), en el presente los sistemas de mayor rentabilidad fueron el E-BO y el ET-MC que presentaron los costos menores, respectivamente.

Según Salgado (2010), el sistema CT-MO no fue rentable y el T-BO fue el segundo con más baja rentabilidad;

Cuadro 4. Ingresos totales (colones/ha/sistema) por concepto de la venta de café y de madera de diámetros menores de los sistemas agroforestales del ensayo de largo plazo con café, Turrialba, Costa Rica

Sistema	Ingresos café	Ingresos madera	Total de ingresos
PSOL-AC	64 400 155,00	0	64 400 155,00
E-AC	54 105 377,00	0	54 105 377,00
PSOL-MC	52 645 583,00	0	52 645 583,00
CE-AC	41 006 440,00	3 516 170,86	44 522 611,14
T-AC	37 189 343,00	1 427 957,18	38 617 300,19
E-MO	37 985 968,00	0	37 985 968,00
ET-MC	33 343 151,00	989 075,31	34 332 226,36
E-MC	33 036 392,00	0	33 036 392,00
E-BO	31 650 283,00	0	31 650 283,00
C-MC	25 520 157,00	5 667 562,16	31 187 719,42
CE-MO	26 878 120,00	3 807 444,95	30 685 565,40
T-MO	29 416 632,00	942 593,12	30 359 225,56
CT-MC	25 168 807,00	3 740 785,91	28 909 593,12
T-MC	25 382 906,00	2 525 383,30	27 908 289,51
C-MO	23 060 707,00	4 711 167,24	27 771 874,17
CE-BO	22 599 936,00	3 188 852,19	25 788 787,73
CE-MC	22 284 005,00	3 241 220,65	25 525 225,77
CT-MO	21 758 403,00	3 722 140,98	25 480 544,14
ET-MO	23 972 762,00	1 381 423,87	25 354 186,19
T-BO	8 697 100,00	949 616,47	9 646 716,05

E: *E. poeppigiana*; C: *C. eurycyclum*; T: *T. amazonia*; CT: *C. eurycyclum* + *T. amazonia*; ET: *E. poeppigiana* + *T. amazonia*; CE: *C. eurycyclum* + *E. poeppigiana*; PSOL: Café a pleno sol; AC: Alto convencional; MC: Moderado convencional; MO: Intensivo orgánico; BO: Bajo orgánico

en el presente caso, el estudio CT-MO pasó a integrar los sistemas viables financieramente, mientras que el T-BO fue el único que alcanzó un VAN negativo.

La baja productividad de la variedad de café Caturra en asocio con *T. amazonia* y manejo orgánico bajo, puede ser explicada en gran medida por la alta competitividad de la especie maderable por nutrientes. Como lo indica van Oijen (2010), los resultados de variaciones en el tiempo del rendimiento de la producción de café en sistemas agroforestales, reafirma la necesidad de desarrollar evaluaciones de largo plazo.

Es notable que *E. poeppigiana* está presente entre los ocho mejores sistemas con mayor rentabilidad (E-AC, CE-AC, E-BO, ET-MC y E-MC). Lo anterior puede ser explicado por la capacidad de fijación de N de esta especie, aporte de nutrientes y supresión de hierbas del suelo vía biomasa y facilidad de manejo para la regulación de la entrada de luz (Tschardtke 2011). El aporte promedio de la venta de madera proveniente del aprovechamiento de raleos (Figura 1), a los ingresos fue del 10%. Los sistemas donde se aprovechó madera de *C. eurycyclum* alcanzaron mayores ingresos. Se espera que el ingreso mayor se logre con el aprovechamiento final de la madera (Rice 2008). Entre los sistemas con menor rentabilidad se encuentran aquellos en asocio con maderables y sin combinación con árboles de servicio. Un elemento que podría explicar este comportamiento es la presencia de una mayor densidad de árboles y cobertura de sombra por mucho tiempo. Estudios apun-

tan que para obtener una mayor producción de café con sombra de solo maderables, las densidades deben estar alrededor de 34 y 100 árboles maderables/ha de edades medias y finales (Baggio 1997 y Beer 1993 citado por Muschler 1999).

CONCLUSIONES

Los sistemas a pleno sol siguen estando entre los sistemas más rentables, a pesar de que son sistemas con costos mayores que limitan su acceso a la mayoría de los productores con bajos recursos; son sistemas que además producen impactos negativos al ambiente, al cultivo y a la calidad del grano. Los sistemas orgánicos intensivos fueron rentables, pero igualmente con costos muy altos. Por otro lado, la muy alta rentabilidad de los sistemas con *E. poeppigiana* (manejo bajo orgánico) y *E. poeppigiana* asociada con *T. amazonia* (manejo moderado convencional), ambos con los menores costos de producción, aporta elementos importantes para el diseño y manejo de sistemas con alto potencial de multiplicación.

En las condiciones del estudio, sin certificación y sobreprecio, los sistemas orgánicos intensivos (MO) estuvieron entre los de menor rentabilidad. En los casos de los MO asociados con maderables, y en especial con *C. eurycyclum*, el aprovechamiento de madera de raleos permitió ingresos complementarios que apoyaron el flujo de caja a partir del año siete del establecimiento. Se espera que la venta de la madera al final de su ciclo de corta pueda cambiar positivamente la rentabilidad de los sistemas.



Raleo parcela de *T. amazonia* (amarillón), febrero 2008
Foto: E. de M. Virginio Filho



Raleo parcela *T. amazonia* (amarillón), mayo 2012
Foto: E. de M. Virginio Filho



Raleo parcela *C. eurycyclum* (cashá), marzo 2012
Foto: R. P. Lima

Figura 1. Raleo de diferentes árboles de sombra del ensayo de largo plazo con café, Turrialba, Costa Rica



Los raleos de los árboles permiten además de madera de diámetros menores buena producción de leña. Foto: R. P Lima, 2012.

Los resultados del estudio reafirman la importancia de diseños y manejos de sistemas agroforestales que incorporen y combinen árboles de servicio (fijadores de N y aportadores de biomasa por podas reguladas continuas), con otras especies (maderables, frutales, entre otros), en densidades por hectárea adecuada para una producción sostenible y rentable de café.

RECOMENDACIONES

- Para los sistemas agroforestales con maderables se sugiere realizar estudios financieros que consideren el valor del estoque de madera en su ciclo final de corta.
- Para futuros estudios de los sistemas orgánicos se debe considerar, de manera complementaria, la rentabilidad en función de los valores de referencia del sobreprecio del mercado de cafés certificados.
- Hacer análisis estocásticos, donde precios y precipitaciones sean tratadas como variables claves para evaluar cuál de todos los sistemas tienen mayor resiliencia a cambios en las condiciones de mercado y clima.
- La variedad de café Caturra ha sido muy afectada por el cambio climático y por la roya. Estudios futuros de rentabilidad deben incluir el análisis de variedades mejoradas de alta productividad y rusticidad.
- Fortalecer el aprendizaje integral de los actores vinculados a la producción de cafés sostenibles sobre diseños y manejos de sistemas agroforestales que

permitan el equilibrio entre rentabilidad financiera y sostenibilidad ambiental.

- Desarrollar políticas y mecanismos que incentiven y fortalezcan sistemas agroforestales con alto potencial de sostenibilidad integral.

BIBLIOGRAFÍA

- Aide, TM; Grau, HR. 2004. Globalization, migration, and Latin American ecosystems. *Science* 305(5692): 1915-1916.
- Bacon, C. 2005. Confronting the coffee crisis: can fair trade, organic, and specialty coffees reduce small-scale farmer vulnerability in northern Nicaragua? *World development* 33(3):497-511.
- Baggio, AJ. 1997. Productivity of southern Brazilian coffee plantations shaded by different stockings of *Grevillea robusta*. *Agroforestry Systems* 37: 111-120.
- Blackman, A. 2003. Land cover in a managed forest ecosystem: Mexican shade coffee. Washington, DC., United States of America, Resources for the Future.
- Castro-Tanzi, S. 2012. Analysis of management and site factors to improve the sustainability of smallholder coffee production in Tarrazú, Costa Rica. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 155:172-181.
- de Rezende, JLP; de Oliveira, AD. 2008. Análise Econômica E Social De Projetos Florestais. Viçosa, Brasil. UFV.
- Donald, P.F. 2004. Biodiversity impacts of some agricultural commodity production systems. *Conservation Biology* 18(1):17-38.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 2015. Statistical Pocketbook Coffee 2015. Roma, Italia.
- Gómez, M; Quirós, D. 2001. Análisis financiero del manejo de bosques. In Louman, B; Quirós, D; Nilsson, M (eds). *Silvicultura de bosques latifoliados húmedos con énfasis en América Central*. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 265 p. (Serie técnica. Manual técnico no. 46).
- Gordon, C. 2007. Biodiversity, profitability, and vegetation structure in a Mexican coffee agroecosystem. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 118(1-4): 256-266.

- Haggar, J; Barrios, M; Bolaños, M; Merlo, M; Moraga, P; Munguia, R; Ponce, A; Romero, S; Soto, G; Staver, C; Virginio, E. de M. 2011. Coffee agroecosystem performance under full sun, shade, conventional and organic management regimes in Central America. *Agroforestry Systems* 82(3): 285-301.
- ICAFFE (Instituto del Café, Costa Rica). 2016. Informe sobre la Actividad Cafetalera de Costa Rica. Heredia, Costa Rica. Disponible en <http://www.icafe.cr/wpcontent/uploads/informacion_mercado/informes_actividad/actual/InformeActividadCafetalera.pdf.pdf>. Acceso en 18 octubre 2017.
- ICO (International Coffee Organization). Statistics (en línea). 2015. Disponible en http://www.ico.org/historical/2010-19/pdf/tot_production.pdf. Consultado 18 oct. 2017.
- ITC (International Trade Centre). 2011. The Coffee Exporter's Guide, 3rd, ed. Ginebra, Suiza.
- Jha, S. 2014. Shade coffee: update on a disappearing refuge for biodiversity. *BioScience* 64(5): 416-428.
- Merlo, CME. 2007. Comportamiento productivo del café (*Coffea arabica var Caturra*), el poró (*Erythrina poeppigiana*), el amarillón (*Terminalia amazonia*) y el cashá (*Chloroleucon eurycyclum*) en sistemas agroforestales bajo manejos convencionales y orgánicos en Turrialba. Tesis Mag. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 81 p.
- Moguel, P; Toledo, VM. 1999. Biodiversity conservation in traditional coffee systems of Mexico. *Conservation Biology* 13(1):11-21.
- Muschler, R. 1999. Árboles en cafetales. Turrialba, Costa Rica, CATIE/GTZ. (Materiales de enseñanza n° 45; Módulo de Enseñanza Agroforestal no. 5). 134 p.
- Myers, N. 2000. Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature* 403:853-858.
- O'Brien, TG; Kinnaird, MF. 1996. Caffeine and conservation. *Science* 300(5619): 587-587.
- Rice, R. A. 2008. Agricultural intensification within agroforestry: the case of coffee and wood products. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 128(4): 212-218.
- Rice, RA; Ward, JR. 1996. Coffee, conservation, and commerce in the Western Hemisphere. Washington, DC, United States of America, The Smithsonian Migratory Bird Center and the Natural Resources Defense Council.
- Salgado, JL. 2010. Fijación de carbono en biomasa aérea y rentabilidad financiera de sistemas agroforestales con café en Turrialba, Costa Rica y Masatepe, Nicaragua. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 109 p.
- Sánchez, PA. 1995. Science in agroforestry. *Agroforestry Systems* 30(1-2): 5-55.
- Topik, S; Talbot, JM; Samper, M. 2010. Introduction globalization, neoliberalism, and the Latin American coffee societies. *Latin American Perspectives*. 37(2): 5-20.
- Tscharntke, T. 2011. Multifunctional shade tree management in tropical agroforestry landscapes—a review. *Journal of Applied Ecology* 48(3): 619-629.
- van Oijen, M. 2010. Coffee agroforestry systems in Central America: II. Development of a simple process-based model and preliminary results. *Agroforestry Systems* 80(3): 361-378.
- Voltan, RBQ; Fahl, JI; Carelli, MLC. 1992. Variação na anatomia foliar de cafeeiros submetidos a diferentes intensidades luminosas. *Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal* 4(2): 99-105.

Avances de Investigación

Actividad biológica de suelo: indicadores para el diseño y manejo de sistemas agroforestales con café

Liliana Bueno López¹, Elias de Melo Virginio Filho², Ana Vásquez Vela³, Fernando Casanoves³

RESUMEN

El establecimiento de sistemas agroforestales con café ha demostrado ser no solo una estrategia de manejo y adaptación al cambio climático, sino también un buen proveedor de servicios ecosistémicos, resaltando el papel del suelo y su biodiversidad en este proceso. Por esta razón se considera relevante presentar metodologías que permitan incluir y evaluar la biodiversidad del suelo en sistemas productivos. Sin embargo, sigue siendo escasa la vinculación del componente vivo del suelo con la toma de decisiones de manejo de los agroecosistemas. En ese trabajo se propone un “índice integrador de actividad biológica del suelo” a través del uso de abundancia de macrofauna de lombrices y actividad de la catalasa (reacción con agua oxigenada, H₂O₂). El estudio aplicó el índice propuesto utilizando muestras de suelos del ensayo de café de largo plazo de sistemas agroforestales (SAF) con café (con 20 años de establecido), en la finca experimental del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), ubicada en Turrialba, Cartago, Costa Rica. Las muestras fueron tomadas de diferentes arreglos productivos que incluyen sombra con *Terminalia amazonia* (T), *Erythrina poeppigiana* (P) y asociación de *Erythrina poeppigiana* y *Chloroleucon eurycyclum* (PC), además de pleno sol (FS), con manejos orgánicos y convencionales, altos, medios y bajos; adicionalmente, se evaluaron suelos de sistemas de bosque (BS), pastura (PZ) y caña de azúcar (CA), como testigos. La comparación de tratamientos se realizó mediante ANOVA usando modelos lineales y modelos lineales generalizados. Posteriormente se construyó el índice integrador de actividad biológica del suelo y se generó una escala con base en los valores mínimos y máximos encontrados en las poblaciones estudiadas para la reacción de la catalasa y el número de lombrices. Los resultados mostraron niveles mayores de actividad en los agroecosistemas con presencia de sombra y con manejos orgánicos, mientras que los sistemas PZ, CA y FS presentaron los valores menores.

Palabras clave: lombrices, catalasa, calidad de suelo, biodiversidad del suelo.

ABSTRACT

The establishment of agroforestry systems with coffee has proven to be not only a strategy for managing and adapting to climate change, but also a good provider of ecosystem services, highlighting the role of the soil and its biodiversity in this process. For this reason, it is considered relevant to present methodologies that evaluate soil biodiversity in production systems. However, the link between the living component of the soil and the decision-making to manage the agroecosystems is still scarce. In this work, an “integrating index of soil biological activity” was proposed by integrating the abundance of earthworm macrofauna and the catalase activity (reaction with hydrogen peroxide, H₂O₂). The study applied the proposed index from soil samples that were collected from the long-term coffee trial of agroforestry systems (SAF) with coffee (20 years old), on the experimental farm of the Tropical Agricultural Research and Higher Education Center (CATIE), located in Turrialba, Cartago, Costa Rica. The samples were taken from productive systems with different shade arrangements that included shade with *Terminalia amazonia* (T), *Erythrina poeppigiana* (P) and association of *Erythrina poeppigiana* and *Chloroleucon eurycyclum* (PC), also full sun (FS) with organic and conventional management, high, medium and low; additionally, soils of forest systems (BS), pasture (PZ) and sugar cane (CA), were evaluated as controls. The comparison of treatments was made by ANOVA using linear models and generalized linear models. Subsequently, an “integrative index of biological activity” was built, by using a scale-based system with minimum and maximum values found in the populations studied for the catalase reaction and the number of earthworms. The results showed higher levels of activity in the agroecosystems with the presence of shade and with organic management, while the PZ, CA and FS systems presented the lowest values.

Keywords: earthworms, catalase, soil quality, soil biodiversity.

INTRODUCCIÓN

La incorporación de árboles en los cafetales representa una buena opción de manejo, ya que permite amortiguar los efectos del cambio climático y reducir riesgos que la

caficultura experimenta. Adicionalmente, esta estrategia fortalece servicios ecosistémicos del agroecosistema, entre los cuales el suelo juega un papel fundamental (Villarreyña 2016). El suelo puede albergar un cuarto de

1 GATA/UTP - Gestión en Agroecosistemas Tropicales Andinos, Colombia; lilibu@utp.edu.co

2 CATIE-PROCAGICA-IICA-UE, Costa Rica

3 CATIE-Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, Costa Rica

la biodiversidad del planeta, y la mayor parte de esa biodiversidad es representada por invertebrados que son fundamentales para garantizar el ciclo de nutrientes a través de los procesos de descomposición de la materia orgánica. Por otro lado, la diversidad de invertebrados es muy sensible a los cambios en el agroecosistema (Velásquez y Lavelle 2019). Una de las formas de evidenciar la actividad en el suelo, es a través del uso de indicadores de calidad, que no son universales y por esta razón es necesario que sean desarrollados a nivel local (Toledo *et al.* 2018). Adicionalmente, los indicadores biológicos y bioquímicos resultan bastante útiles para detectar cambios sensibles frente a diferentes tipos de manejos que se puedan dar en un agroecosistema (Baridón 2015) y para evaluar la sostenibilidad del uso del suelo, entre otros (Fusaro *et al.* 2018).

Entre los bioindicadores más utilizados, es posible mencionar la abundancia de las lombrices de tierra y la actividad enzimática en el suelo. Las lombrices son consideradas como “ingenieros ecosistémicos”, con funciones determinantes en la dinámica de la transformación de la materia orgánica (Bart *et al.* 2019) y constituyen el componente más importante de la macrofauna edáfica (Mestanza y Zorogastúa 2019). Con respecto a las enzimas, son muchas las que pueden mencionarse, y la actividad de la catalasa, es una que se relaciona estrechamente con la actividad microbiana del suelo por ser una enzima intracelular presente en microorganismos aerobios y en la mayoría de los organismos anaerobios facultativos (Martínez *et al.* 2012). En este sentido, la actividad de la catalasa tiene una relación estrecha con la actividad microbiana, la respiración celular y la disponibilidad de materia orgánica en el suelo, siendo ampliamente reconocida como un indicador del estado del suelo (Serrano García *et al.* 2016, Karimi *et al.* 2020).

De acuerdo con Petigara *et al.* (2002), la descomposición del H_2O_2 se debe “al menos en parte, por la actividad biológica”, ya que esta enzima también se encuentra en células vegetales y animales asociadas a las funciones en su metabolismo (Ecohuerto Universitario UJA 2010). La presencia de la catalasa se evidencia por el efecto o reacción que se genera a través de la efervescencia o liberación de oxígeno y de esta manera permite conocer el estado inicial de la actividad metabólica del suelo y, por ende, una aproximación a su funcionalidad y potencial biótico (Aguilar Medina 2017).

La catalasa hace parte de las oxidorreductasas; su actividad consiste en actuar sobre el peróxido de hidrógeno (H_2O_2) (agua oxigenada) y descomponerlo para formar oxígeno y agua, reacción que se evidencia al momento que el suelo entra en contacto con una cantidad determinada de H_2O_2 (Guangming *et al.* 2017, Universidad de Granada 2004); en ese sentido, la catalasa es utilizada comúnmente como indicador de actividad de organismos aerobios y de la fertilidad del suelo (Aguilar Medina 2017).

Este artículo presenta los resultados de evaluaciones comparativas de varios sistemas de producción de café y propone una escala valorativa integradora de actividad biológica del suelo, la cual está compuesta por un indicador de abundancia de macrofauna y actividad de la catalasa (con el uso de H_2O_2). El objetivo general es el de reconocer la importancia de indicadores biológicos que se podrían usar en campo para evaluar la vida en el suelo. Los objetivos específicos del presente estudio son:

1. Evaluar la respuesta de la catalasa en las muestras de suelo de 10 SAF de café con diferentes tipos de sombra y niveles de manejo convencional y orgánico, además de tres sistemas testigo (pasto, caña y bosque).
2. Determinar la posible correlación entre la respuesta de la catalasa y los indicadores de macrofauna en evaluaciones del suelo en sistemas de producción de café.
3. Proponer una escala integradora de actividad biológica del suelo tomando en cuenta abundancia de lombrices y actividad de la catalasa como apoyo a procesos aplicados de evaluación del potencial biológico del suelo para el diseño y manejo de sistemas productivos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio y períodos de evaluación

El estudio se desarrolló en el ensayo de largo plazo de sistemas agroforestales (SAF) con café, con 20 años de establecido, en la finca experimental del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), ubicada en Turrialba, Cartago, Costa Rica. El monitoreo de lombrices fue llevado a cabo durante el estudio de Vela (2014), a través del cual se evaluó la abundancia y biomasa de la macrofauna de lombrices. El muestreo de suelos y respuesta a la actividad de la catalasa se llevó a cabo durante febrero del 2020.

Sistemas de producción evaluados

Se evaluaron de manera comparativa, tanto para muestreo de macrofauna del suelo como para la acción de la catalasa, 13 tratamientos, 8 en sistemas agroforestales, 2 en pleno sol con café del experimento SAF del CATIE, y tres testigos en los sistemas de bosque (BS), pasto (PZ) y caña de azúcar (CA), ubicados en terrenos colindantes al ensayo de largo plazo.

Los SAF de CATIE se encuentran establecidos de acuerdo con un diseño experimental en bloques completos al azar con tres repeticiones. Los 10 sistemas de café evaluados son de la variedad Caturra sembrados a 2x1 m. Los SAF de café representaron una selección de combinaciones de tipo de sombra con diferentes manejos que van desde convencionales alto-medio (AC-MC), hasta orgánicos intensivo (MO) y bajo (BO) (Cuadro 1). Las combinaciones evaluadas fueron: pleno sol (FS), con manejo AC y MC (FS-AC y FS-MC), sombra de *Terminalia amozonia* (T) con manejo AC, MC y MO (T-AC, T-MC y T-MO, respectivamente), sombra de *Erythrina poeppigiana* (P) con manejos AC, MC, MO y BO (P-AC, P-MC y P-MO, P-BO, respectivamente), sombra combinada de *Chloroleucon eurycyclum* y *E. poeppigiana* (PC) con manejo BO (PC-BO).

Protocolo de la reacción de la catalasa en muestra de suelo fresca

Se evaluaron muestras compuestas obtenidas luego de homogenizar 12 submuestras de suelo tomadas del sitio del monitoreo según el tipo de arreglo; las submuestras

de los sistemas con café se tomaron tanto en calles como en líneas de café, a una profundidad de 10 cm. La reacción enzimática de la catalasa se fundamentó en la adición de una determinada cantidad de H₂O₂ al suelo, provocando la descomposición de la materia orgánica presente en H₂O y O₂. Para esta prueba se adaptó el método de Johnson y Temple (1964), el cual consistió en pesar 0,5 g de suelo fresco, homogenizado y adicionar 0,3 ml de H₂O₂ al 3%, para evaluar presencia o ausencia de burbujeo y el tiempo de duración del mismo (Universidad de Granada 2004, Aguilar Medina 2017). Como patrones de reacción fueron utilizados arena y material compostado (gallinaza).

Abundancia de macrofauna de lombrices

Vela (2014) usó un marco de metal con dimensiones de 25x25 cm para el muestreo de lombrices. El área efectiva de muestra se consideró a 10 cm de profundidad; se tomaron cuatro submuestras por tratamiento, en puntos al azar dentro de la parcela para el conteo de lombrices.

Análisis estadístico

Se realizó análisis de varianza tanto para el tiempo de reacción en segundos (actividad de la catalasa), como para el número de individuos de lombrices (abundancia de macrofauna), a través de modelos estadísticos lineales y modelos lineales generalizados (Di Rienzo *et al.* 2017). Además se llevó a cabo un análisis de correlación de Spearman entre las variables definidas anteriormente. Los análisis se realizaron usando el *software* estadístico InfoStat (Di Rienzo *et al.* 2019).

Cuadro 1. Tipos y niveles de fertilización y manejo del suelo para sistemas agroforestales con café y a pleno sol en el ensayo de largo plazo de sistemas agroforestales con café, Turrialba, Costa Rica

	Niveles de manejo			
	AC	MC	MO	BO
Tipos de fertilizantes (enmiendas y foliares)	Químicos sintéticos	Químicos sintéticos	Orgánicos (gallinaza, pulpa de café, minerales)	Orgánico (pulpa de café)
Nivel de fertilizantes aplicados, aplicaciones	Altas dosis de fórmulas completas y nitrogenadas al suelo, tres fertilizaciones foliares al año	Dosis intermedias de fórmulas completas y nitrogenadas al suelo, una aplicación foliar al año	Altas cantidades de enmiendas orgánicas (10 mg/ha/año) y 100 kg/ha/año de minerales Tres aplicaciones al año de biofermentos foliares	Baja cantidad de enmienda orgánica (5 mg/ha/año) sin aplicaciones de biofermentos
Manejo de hierbas del suelo	Seis aplicaciones anuales de herbicidas con suelo libre de hierbas	Cinco aplicaciones anuales de herbicida en la banda de fertilización de los cafetos. Se mantiene calle con cobertura regulada con chapeas	Cuatro chapeas anuales con manejo selectivo de buenas hierbas como cobertura	Cuatro chapeas anuales con manejo selectivo de buenas hierbas como cobertura

AC: Alto convencional; MC: Moderado convencional; MO: Orgánico intensivo; BO: Bajo orgánico.

Fuente: Virginio Filho *et al.* (2015).

Finalmente, se generó un “índice integrador de actividad biológica del suelo” para campo. Para ello se establecieron tres rangos partiendo de los valores máximos y mínimos para cada variable y se agruparon en tres categorías, dividiendo la diferencia entre máximo y mínimo entre tres para obtener los intervalos. Las muestras cuyos valores de las variables entraron en el primer, segundo y tercer tercio fueron calificadas con 1, 2 y 3, siendo 1 la calificación más baja y 3 la más alta. Una vez asignadas estas puntuaciones para la actividad de la catalasa y para el número de lombrices fueron sumadas, y con este valor se obtiene el índice para cada muestra de suelo, tomando en consideración que el valor máximo posible es seis (6) y el valor mínimo es dos (2).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Actividad de la catalasa

Con el fin de reconocer el comportamiento del H_2O_2 al entrar en contacto con el sustrato evaluado, se realizó una prueba inicial usando arena, suelo y abono orgánico (Figura 1), de tal manera que fue posible evidenciar la intensidad de la efervescencia que está relacionada con la liberación de oxígeno una vez que entran en contacto los reactivos. De esta forma fue posible apreciar una reacción con mayor efervescencia y duración en la muestra de abono orgánico ($199,33 \pm 25,66$ s), mientras que la muestra de arena no manifestó ningún tipo de reacción.

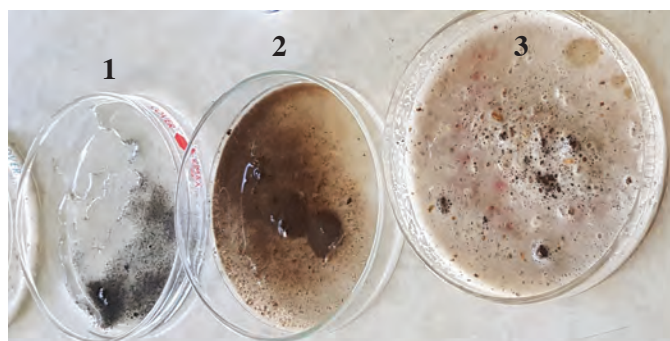


Figura 1. Reacción de la catalasa en diferentes tipos de sustratos. De izquierda a derecha: arena (1), suelo (2) y compost (3)

El análisis de varianza efectuado a través de modelos lineales generales y mixtos presentó diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$) para la actividad de la catalasa. Es de resaltar que en los sistemas agroforestales con manejo orgánico PC-BO ($88,33 \pm 5,43$) y T-MO ($87,06 \pm 5,43$), la actividad de esta enzima fue mucho

mayor en comparación con los sistemas sin sombra y además con manejo convencional, como son los casos de FA-AC ($49,28 \pm 5,43$), FS-MC ($37,19 \pm 5,43$) y el PZ ($30,89 \pm 5,43$) (Figura 2).

En la Figura 2 se pueden observar detalladamente las combinaciones o arreglos de los sistemas agroforestales evaluados.

Este comportamiento de la reacción del peróxido con el suelo coincide con un comportamiento esperado, considerando el tipo de manejo y uso de los suelos. Es importante mencionar que el uso del H_2O_2 para evaluar la materia orgánica del suelo es uno de los métodos más utilizados (Jaramillo 2002) no sólo a nivel de laboratorio, sino en campo. Su uso también permite a los productores comprender mejor el estado de sus suelos (Vallecillo 2017). El número y la actividad de los microorganismos pueden estar determinados por la cantidad de energía liberada en la transformación de la materia orgánica (Gamero 2016, Julca-Otiniano *et al.* 2006). La reacción del suelo con el peróxido no solo es un indicador de la presencia de materia orgánica, si no de manera indirecta de la actividad microbiana.

Se observó también una relación entre la presencia de árboles y los manejos orgánicos con la actividad de la catalasa, que indica que hay una disponibilidad de materiales orgánicos en el suelo que está en proceso de transformación. Este resultado coincide con otros trabajos que evaluaron la actividad de la catalasa en café orgánico y pastizal, presentándose la mayor actividad en suelos del sistema cafetero (Vallejo *et al.* 2018).

Es importante mencionar que, en cuanto a la actividad de la catalasa, el tiempo máximo promedio de duración que tuvo la reacción con el suelo fue de 89,75 s para PC-BO, mientras que para el abono orgánico fue de 199,33 s, lo que indica un mayor contenido de materiales orgánicos en el segundo. Por otro lado, vale la pena mencionar que, en la determinación de la actividad de la catalasa en el suelo a través de la descomposición del H_2O_2 , puede darse una catálisis no enzimática atribuible a compuestos inorgánicos de Fe y Mn. También puede darse la intervención de compuestos producidos por plantas como taninos o ácido vinílico (Aguilar Medina 2017).

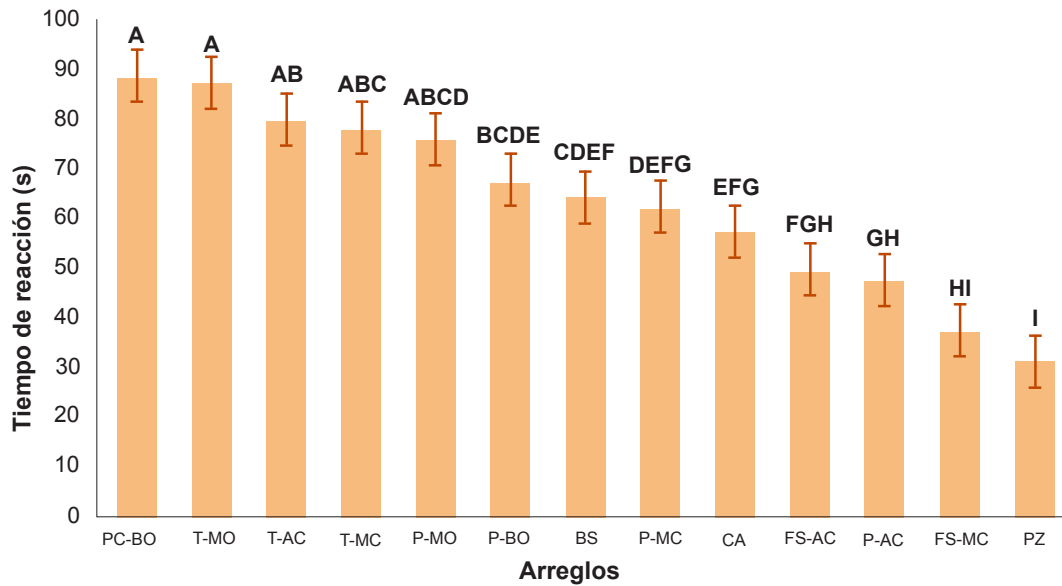


Figura 2. Reacción de la catalasa representada por el tiempo de reacción (efervescencia (s)) a distintos sustratos provenientes de sistemas agroforestales del estudio de largo plazo con café, Turrialba, Costa Rica. Las líneas sobre las barras indican el error estándar y medias con una letra igual, no difieren estadísticamente ($p < 0,05$).

T-AC= *Terminalia amazonia* alto convencional; T-MC *Terminalia amazonia* moderado convencional; T-MO *Terminalia amazonia* orgánico intensivo; P-BO= *Erythrina poeppigiana* bajo orgánico; P-MO= *Erythrina poeppigiana* orgánico intensivo; P-AC= *Erythrina poeppigiana* alto convencional; P-MC= *Erythrina poeppigiana* moderado convencional; PC-BO= *Erythrina poeppigiana* - *Chloroleucon eurycyclum* bajo orgánico; FS-AC= pleno sol alto convencional; FS-MC= pleno sol moderado convencional; BS= bosque; PZ= pasto; CA= caña de azúcar

Lograr incluir parámetros prácticos que permitan diagnosticar el estado microbiano del suelo es relevante si se considera que, tradicionalmente, los productores y técnicos no consideran en general a las poblaciones microbianas entre las características de calidad de suelos (Ortiz Ríos 2016). Una mayor actividad de la catalasa indica el buen funcionamiento de las actividades metabólicas microbianas (Serrano García *et al.* 2016).

El suelo del bosque evaluado no presentó valores altos de actividad de la catalasa, posiblemente porque, aunque el reemplazo de bosques por sistemas agroforestales reduce el contenido de materia orgánica en el suelo, los sistemas agroforestales, en especial con manejos orgánicos continuos, pueden llegar a ofrecer mejores opciones de almacenamiento de carbono (Ordoñez *et al.* 2017).

Abundancia de macrofauna de lombrices

De acuerdo con el monitoreo de lombrices realizado en el 2012 por Vela (2014), es posible apreciar un número de individuos mayor por metro cuadrado en los arreglos P-BO (264 ± 39), T-AC (225 ± 34) y bosque (219 ± 33) (Figura 3). Dos estudios previos en el ensayo agroforestal de largo plazo también encontraron resultados más elevados de abundancia de lombrices en sistemas

agroforestales con manejo orgánico (Sánchez-De León *et al.* 2006 y Aquino *et al.* 2008).

Por su parte, Vela (2014) determinó que los suelos sin árboles y con condiciones de manejo convencional como café FS-AC (87 ± 13) y caña de azúcar (64 ± 10), presentaron el menor número de individuos (Figura 3). Los resultados obtenidos en este estudio coinciden con estudios previos que indicaron valores menores de lombrices en sistema de café a pleno sol (Sánchez-De León *et al.* 2006, Aquino *et al.* 2008).

Según reporta USDA (2000), se pueden encontrar entre 56 y 330 individuos por metro cuadrado de macrofauna de lombrices en suelos agrícolas de agroecosistemas saludables, aumentando el número en suelos con alto contenido orgánico, mientras que en pastizales y bosques es posible que se tengan entre 100 y 543 individuos, considerando que en suelos áridos y bosque de coníferas este número puede ser menor e incluso no tener presencia. En este sentido, se aprecia que los resultados obtenidos en este estudio coinciden con el parámetro de referencia de USDA. Adicionalmente, Vela (2014) demostró que sistemas agroforestales con especies fijadoras de nitrógeno muestran mejores resultados con respecto a la abundancia de lombrices,

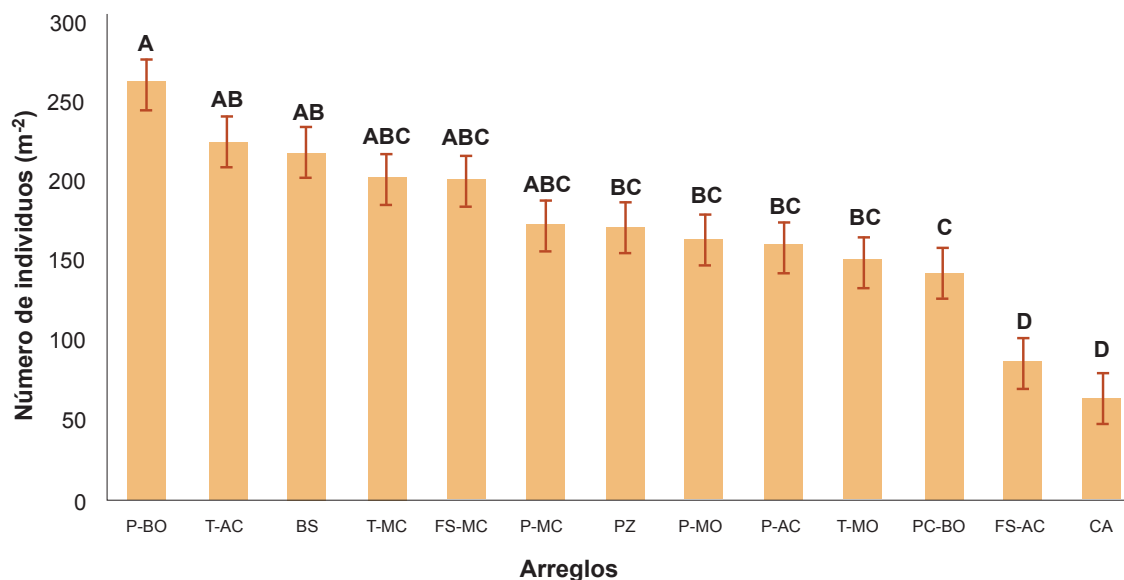


Figura 3. Abundancia de macrofauna de lombrices (número individuos m⁻²) (Vela 2014); las líneas sobre las barras indican el error estándar; medias con una letra igual no difieren estadísticamente ($p < 0,05$).

T-AC= *T. amazonia* alto convencional; T-MC *T. amazonia* moderado convencional; T-MO *T. amazonia* orgánico intensivo; P-BO= *E. poeppigiana* bajo orgánico; P-MO= *E. poeppigiana* orgánico intensivo; P-AC= *E. poeppigiana* alto convencional; P-MC= *E. poeppigiana* moderado convencional; PC-BO= *E. poeppigiana* – *C. eurycyclum* bajo orgánico; FS-AC= pleno sol alto convencional; FS-MC= pleno sol moderado convencional; BS= bosque; PZ= pasto; CA= caña de azúcar

sin dejar de mencionar que la sombra de especies como *Terminalia amazonia*, favorece la humedad y la presencia de materia orgánica. Además, se aprecia que las lombrices son indicadores de prácticas sostenibles de manejo de suelos, considerando que los arreglos que presentan menor número de estas son los que han sido impactados por actividades agrícolas intensivas (Fusaro *et al.* 2018).

Correlación entre macrofauna de suelo y actividad de la catalasa

La correlación de Spearman permitió evidenciar la existencia de una relación positiva ($r=0,62$), entre el indicador de la actividad de la catalasa (generada para este estudio) y la abundancia de macrofauna de lombrices evaluada por Vela (2014). Este comportamiento permite concluir que a mayor número y peso de lombrices, hay mayor actividad de la catalasa (Restrepo y Gonzáles 2007).

Escala integradora de la actividad biológica del suelo

Con el fin de generar una escala de interpretación que pueda ser útil para técnicos y productores, se propone un “índice integrador de actividad biológica del suelo” el cual es el resultado de la sumatoria de la puntuación

de la abundancia de macrofauna de lombrices y la actividad de la catalasa, monitoreada con la metodología propuesta en este artículo (Cuadro 2). En este Cuadro se pueden observar detalladamente las combinaciones o arreglos de los sistemas agroforestales evaluados.

La calificación propuesta parte de la correlación directa que existe entre los parámetros evaluados. La escala se genera haciendo uso de las mismas fortalezas y debilidades que se presentan con los arreglos productivos evaluados. El índice integrador de actividad biológica mencionado (Cuadro 2), define los siguientes rangos: se enmarca con una máxima calificación de 6, en el rango medio estarán aquellos sitios productivos que obtengan valores entre 4 y 5 y la calificación más baja la tendrán aquellos sitios con valores entre 2 y 3.

Los resultados obtenidos con la metodología propuesta permiten comparar el efecto del asocio de árboles en cafetales con la presencia de vida en el suelo entre los diferentes sistemas. Esta situación es reseñada de manera reiterada en diferentes publicaciones y requiere de más propuestas que permitan incluir las dinámicas microbianas en el diagnóstico de calidad de los suelos (Anaya y Jaramillo 2017).

Cuadro 2. Calificación de indicadores e índice integrador de actividad biológica del suelo basada en los análisis de sistemas de producción del ensayo de largo plazo en sistemas agroforestales con café, Turrialba, Costa Rica

Arreglo	PC-BO	T-MO	T-AC	T-MC	P-MO	P-BO	BS	P-MC	CA	FS-AC	P-AC	FS-MC	PZ
Catalasa (efervescencia (s))	88,33	87,06	79,76	77,99	75,79	67,45	63,99	62,27	56,96	49,28	47,28	37,19	30,89
Cualificación	3 (69,2-88,3)					2 (50,0-69,1)				1 (30,8-49,9)			
Arreglo	P-BO	T-AC	BS	T-MC	FS-MC	P-MC	PZ	P-MO	P-AC	T-MO	PC-BO	FS-AC	CA
N°_individuos m ⁻² (lombrices, media)	264	225	219	203	201	173	172	164	160	151	143	87	64
Cualificación	3 (199-266)					2 (131-198)				1 (63-130)			
Arreglos	T-AC	T-MC	PC-BO	T-MO	P-MO	P-BO	BS	P-MC	FS-MC	CA	P-AC	PZ	FS-AC
Índice Integrador de actividad biológica del suelo	6	6	5	5	5	5	5	4	4	3	3	3	2
	Alto		Medio						Bajo				

Cuadro 3. Escala práctica general integradora de actividad biológica del suelo en función de la actividad de la catalasa y macrofauna del suelo

Categoría	Indicadores		Índice integrador de actividad biológica del suelo
	Actividad de la catalasa: Reacción del H ₂ O ₂ sobre muestra de suelo. (duración de efervescencia en segundos)	Abundancia de lombrices: Número de lombrices por metro cuadrado en muestreo	
1. Nivel alto	> 69,2 s	> 199 individuos m ⁻²	6
2. Nivel medio	50,0-69,1 s	131 a 198 individuos m ⁻²	4 y 5
3. Nivel bajo	< 49,9 s	<130 individuos m ⁻²	1, 2 y 3

La escala integradora (Cuadro 2) elaborada en las condiciones experimentales del estudio de largo plazo de sistemas agroforestales con café, con 20 años de haber sido establecido, nos permite proponer una escala general (Cuadro 3) para ser validada y mejorada en diferentes condiciones agroecológicas.

Para los productores de café y los técnicos que brindan asistencia a los productores, este tipo de propuesta metodológica permite, de manera rápida y económica, inferir sobre el estado integral de la biología del suelo de los sistemas de producción. En el contexto de los nuevos enfoques productivos es importante que el café entregado por el productor presente un valor agregado, representado en un café especial producido de manera sostenible, situación que podría permitir que el caficultor alcance beneficios económicos y ambientales (Machado Vargas y Ríos Osorio 2016, Torres Quintao *et al.* 2017). Una vez más se comprueba que la presencia o ausencia de sombra en el cafetal, hace la diferencia en términos ecológicos y de beneficios económicos del

café (Motiejūnaitė *et al.* 2019), ya que la producción bajo manejo orgánico alcanza un mejor precio.

CONCLUSIONES

La metodología propuesta para la evaluación de la actividad de la catalasa permite realizar una evaluación *in situ* con herramientas económicas y fácilmente disponibles, como son el uso de una cuchara pequeña con el fin de medir “un cuarto de suelo”, equivalente a la masa sugerida y/o el uso de un gotero para contar ocho gotas y así obtener 0,3 ml de agua oxigenada. Además, la correlación presentada entre los resultados de la actividad de la catalasa y la abundancia de macrofauna de lombrices, permitió avalar el uso del procedimiento propuesto para establecer el “índice integrador de la actividad biológica del suelo”.

La interacción entre la abundancia de la macrofauna de lombrices y la actividad de la catalasa, proporciona tanto a técnicos como a productores, una herramienta diagnóstica temprana en campo de la eficiencia de los

manejos aplicados en los agroecosistemas (orgánico o convencional), y les permite tomar decisiones con respecto al tipo de sombra más apropiada para el mantenimiento de los mismos.

BIBLIOGRAFÍA

- Aguilar Medina, CL. 2017. Evaluación de la fertilidad de suelo en función de la actividad enzimática en cultivo ecológico y convencional de pimiento (*Capsicum* sp.). Tesis máster. Valencia, España, Politécnica de Valencia. Disponible en <https://riunet.upv.es/handle/10251/89555>
- Anaya Gómez, ML; Jaramillo Jaramillo, D. 2017. Determinación de dos índices de la calidad del suelo en la calidad de la taza de café. *Rev. Fac. Cienc* 6(2):102–123.
- Baridón, JE. 2015. Cambios físicos, químicos y microbiológicos en suelos subtropicales de la provincia de Formosa ante el proceso de agriculturización. Un aporte al conocimiento de la calidad del suelo y sus indicadores. Tesis doctorado. La Plata, Argentina, Universidad Nacional de La Plata. Disponible en <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/50830>
- Bart, S; Pelosi, C; Barraud, A; Péry, A. R. R; Cheviron, N; Grondin, V; Mougin, C; Crouzet, O. 2019. Earthworms mitigate pesticide effects on soil microbial activities. *Frontiers in Microbiology* 10(JUL):1–11. Disponible en <https://doi.org/10.3389/fmicb.2019.01535>
- Aquino, A M; Virginio Filho, E D; Freire Ricci, M dos S; Casanoves, F. 2008. Populações de minhocas em sistemas agroflorestais com café convencional e orgânico. *Ciênc. agrotec.* 32(4): 1184–1188.
- Di Rienzo, JA; Casanoves, F; Balzarini, MG; Gonzalez, L; Tablada, M; Robledo, C. W. 2019. InfoStat versión 2019. Córdoba, Argentina, Universidad Nacional de Córdoba. Disponible en <http://www.infostat.com.ar>
- Di Rienzo, Julio A; Macchiavelli, R; Casanoves, F. 2017. Modelos lineales generalizados mixtos. Aplicaciones en InfoStat. Córdoba, Argentina, Universidad Nacional de Córdoba. Libro digital disponible en http://repositorio.bibliotecaorton.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/8691/Modelos_lineales_generalizados_esp.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Ecohuerto Universitario UJA. 2010. Ensayos de campo para determinar diferentes propiedades físico-químicas del suelo. s. n. t. (Sesión práctica 2: El suelo). Disponible en [http://www10.ujaen.es/sites/default/files/users/aulaverde/Ensayos de campo para determinar propiedades del suelo.pdf](http://www10.ujaen.es/sites/default/files/users/aulaverde/Ensayos_de_campo_para_determinar_propiedades_del_suelo.pdf)
- Fusaro, S; Gavinelli, F; Lazzarini, F; Paoletti, MG. 2018. Soil Biological Quality Index based on earthworms (QBS-e). A new way to use earthworms as bioindicators in agroecosystems. *Ecological Indicators* 93:1276–1292. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.06.007>
- Gamero, DJC 2016. Mineralización de carbono y nutrientes de la materia orgánica en suelos de cuatro sistemas agrícolas en Zamorano, Honduras. Tesis de Grado. San Antonio de Oriente, Honduras. Zamorano.
- Guangming, L; Xuechen, Z; Xiuping, W; Hongbo, S; Jingsong, Y; Xiangping, W. 2017. Soil enzymes as indicators of saline soil fertility under various soil amendments. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 237:274–279. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.01.004>
- Jaramillo, D. 2002. Introducción a la ciencia del suelo. Medellín, Colombia, Universidad de Colombia, 613 p.
- Johnson, JL; Temple, KL. 1964. Some Variables Affecting the Measurement of “Catalase Activity” in Soil. *Soil Science Society of America Journal* 28(2):207–209. Disponible en <https://doi.org/10.2136/sssaj1964.03615995002800020024x>
- Julca-Otiniano, A; Meneses-Florián, L; Blas-Sevillano, R; Bello-Amez, S. 2006. La materia orgánica, importancia y experiencia de su uso en la agricultura. *Idesia (Arica)* 24(1):49–61. Disponible en <https://doi.org/10.4067/s0718-34292006000100009>
- Karimi, A; Moezzi, A; Chorom, M; Enayatizamir, N. 2020. Application of Biochar Changed the Status of Nutrients and Biological Activity in a Calcareous Soil. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition* 20(2):450–459. Disponible en <https://doi.org/10.1007/s42729-019-00129-5>
- Machado Vargas, MM; Ríos Osorio, LA. 2016. Sostenibilidad en agroecosistemas de café de pequeños agricultores: Revisión sistemática. *Idesia (Arica)* 34(2):15–23. Disponible en <https://doi.org/10.4067/s0718-34292016005000002>
- Martínez, MM; Torres, CP; Martínez, Á; Tenorio, J; Cruz, M; Ramos, F; Cuevas, M. 2012. Técnicas para el análisis de actividad enzimática en suelos. *In* Editores: M. C. Cuevas Díaz, G. Espinosa Reyes, C.A. Ilizaliturri Hernández y A. Mendoza Cantú. Métodos ecotoxicológicos para evaluación de suelos contaminados con hidrocarburos. Ciudad de México, México, SEMARNAT, INE. . p. 19–46.
- Mestanza, C; Zorogastúa, P. 2019. Distribución espacial de lombrices de tierra y propiedades de un inceptisol en la ceja de selva peruana. *Revista de Investigaciones Agropecuarias* 45(1):121–126.
- Motiejūnaitė, J; Børja, I; Ostonen, I; Bakker, M. R; Bjarnadottir, B; Brunner, I; Iršėnaitė, R; Mrak, T; Oddsdóttir, E. S; Lehto, T. 2019. Cultural ecosystem services provided by the biodiversity of forest soils: A European review. *Geoderma* 343:19–30. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2019.02.025>
- Ordoñez, JO; Gutiérrez-Castorena, M del C; Ortiz Solorio, CA; Sánchez Guzman, P; Angeles Cervantes, E. R. (2017). Calidad de Andosols en sistemas forestal, agroforestal y agrícola con diferentes manejos en Zacatlán, Puebla. *Terra Latinoamericana* 35(2):179. Disponible en <https://doi.org/10.28940/terra.v35i2.201>
- Ortiz Rios, JC. 2016. La etnoedafología como herramienta conectiva entre agricultores ecológicos de Buga y la academia. Palmira, Colombia, Universidad Nacional de Colombia. Disponible en <http://www.bdigital.unal.edu.co/52969/>
- Petigara, BR; Blough, NV; Mignerey, AC. 2002. Mechanisms of hydrogen peroxide decomposition in soils. *Environmental Science and Technology* 36(4):639–645. Disponible en <https://doi.org/10.1021/es001726y>
- Restrepo, L; Gonzáles, J. 2007. From Pearson to Spearman. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias* 20(2):183–192. Disponible en http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-06902007000200010
- Sánchez-De León, Y; De Melo, E; Soto, G; Johnson-Maynard, J; Lugo-Pérez, J. 2006. Earthworm populations, microbial biomass and coffee production in different experimental agroforestry management systems in Costa Rica. *Caribbean Journal of Science* 42(3):397–409.
- Serrano García, N; Vaca, R; Lugo, J; del Aguila, P. 2016. Efectos del lodo residual y residuos orgánicos vermicoposteados sobre indicadores inorgánicos y catalasa. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental* 32(Especial Residuos Sólidos):173–179. Disponible en <https://doi.org/10.20937/RICA.2016.32.05.13>

- Toledo, DM; Arzuaga, SA; Galantini, JA; Vazquez, S. 2018. Indicadores e índices biológicos de calidad de suelo en sistemas forestales. *Ciencias del Suelo* 36(2):1–12.
- Torres Quintao, R; Zamith Brito, EP; Belk, RW. 2017. The Taste Transformation Ritual in the Specialty Coffee Market. *Revista de Administração de Empresas* 57(5): 483–494. Disponible en <https://doi.org/10.1590/s0034-759020170506>
- Universidad de Granada. 2004. Prácticas con SPSS. Análisis multivariante. In Editor A.M. Lara Porrás. *Diseño Estadístico de Experimentos. Técnicas multivariantes Tratamiento informático mediante SPSS*. Granada, España, Universidad de Granada. p. 41–65. Disponible en <http://www.ugr.es/~cursps/archivos/AFactorial/PracticasSPSS.pdf>
- USDA (United States Department of Agriculture) (2000) Natural Resources Conservation Service Soils. Soil biology primer photo gallery. Disponible en <https://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/photogallery/soils/health/biology/gallery/?cid=1788&position=Promo>
- Vallecillo, R. 2017. ¿Conoce la prueba el agua oxigenada referida a la materia orgánica? s. l., SIMAS. Disponible en <http://www.simas.org.ni/noticias/1773/conoce-la-prueba-del-agua-oxigenada-referida-a-la-materia-organica/>
- Vallejo, V. E; Afanador, L. N; Hernández, M. A; Parra, DC. 2018. Effect of the implementation of different agricultural systems on the soil quality from the municipality of cachipay, Cundinamarca, Colombia. *Bioagro* 30(1):27–38.
- Vela, ALM. 2014. Valoración comparativa de la macrofauna de lombrices en sistemas agroforestales de café orgánico y convencional en contraste con cultivos en pleno sol y bosque, durante la época lluviosa y seca en Turrialba, Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 85 p.
- Velásquez, E; Lavelle, P. 2019. Soil macrofauna as an indicator for evaluating soil based ecosystem services in agricultural landscapes. *Acta Oecologica* 100: 103446. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.actao.2019.103446>
- Villarreyna, RA. 2016. Efecto de los árboles de sombra sobre el suelo, en sistemas agroforestales con café, incluyendo la fenología y fisiología de los cafetos. s. l. CATIE/CIRAD/Conservation International. 36 p. (Informe proyecto Cascada).
- Virgínio Filho, E. D. ; Casanoves, F; Hagggar, J; Straver, C; Soto, G; Avelino, J; Tapia, A; Merlo, M; Salgado, J; Nojonen, M; Perdomo, Y; Vasquez, A. 2015. La productividad útil, la materia orgánica y el suelo en los primeros 10 años de edad en los sistemas de producción de café a pleno sol y bajo varios tipos de sombra y niveles de insumos orgánicos y convencionales en Costa Rica. In Montagnini, F; Somarriba, E; Murgueitio, E; Eibl, B; Fassola, H (eds.). *Sistemas agroforestales: Funciones productivas, socioeconómicas y ambientales*. Cali, Colombia, CIPAV; Turrialba, Costa Rica, CATIE. 454 p. (Serie técnica. Informe técnico no. 402).

Avances de Investigación

Análisis sobre vulnerabilidad y capacidad adaptativa al cambio climático de fincas cafetaleras en Guatemala

Catherine J. Schulz¹, Elias de Melo Virginio Filho²,
Guillermo Detlefsen³, Luis Diego Jiménez³, Mario E. Chocooj⁴

RESUMEN

Esta investigación tuvo como objetivo contribuir a evaluar la vulnerabilidad y la capacidad adaptativa al cambio climático de fincas cafetaleras de Guatemala. El estudio se realizó con base en la aplicación del instrumento de vulnerabilidad y capacidad adaptativa de la herramienta *Coffee cloud*. Se realizaron observaciones de campo en las siete regiones cafetaleras del país, y se entrevistó a un total de 53 productores para determinar cómo estaban afrontando la adaptación al cambio climático por medio de prácticas de manejo. Se hicieron comparaciones de resultados obtenidos para 30 fincas en el año 2018 con respecto al 2016, año de línea base. Los análisis estadísticos realizados fueron tablas de contingencia con modelos lineales generales y mixtos con base al índice general de vulnerabilidad y capacidad adaptativa. Según los resultados obtenidos en la primera evaluación, un 10% de las fincas se ubicaron en la categoría medianamente crítica de vulnerabilidad, mientras que para la segunda evaluación hubo un aumento alcanzando el 59,62% de las fincas. De igual forma, para la primera evaluación, un 26,67% de las fincas estaban en la categoría de vulnerabilidad regular, mientras que en la segunda evaluación pasaron a un 32,69%. Las limitantes principales que afectan más ampliamente los cafetales, con base al promedio de las dos evaluaciones, fueron: aumento de temperatura, lluvias irregulares, sequías, floración irregular del café, plagas, enfermedades y cafetales viejos. Las prácticas que están contribuyendo a reducir la vulnerabilidad corresponden a: mejoras en la sombra, establecimiento de variedades mejoradas, prácticas de conservación de suelos, cosecha de agua y riego y mejoras en fertilización. Es determinante seguir fortaleciendo las capacidades de las familias productoras a fin de contribuir a la consolidación de las estrategias que se están implementando.

Palabras clave: Coffee cloud, clima adverso, plantaciones resilientes

ABSTRACT

This research aimed to assess the vulnerability and adaptive capacity to climate change of coffee farms in Guatemala. The study was carried out based on the application of the vulnerability and adaptive capacity instrument of the *Coffee cloud* tool. Field observations were made in the seven coffee growing regions of the country, and a total of 53 producers were interviewed to determine how they were coping with adaptation to climate change through management practices. Comparisons were made of the results obtained for 30 farms between 2018 with respect to the baseline year, 2016. The statistical analyzes carried out were contingency tables with general and mixed linear models based on the general index of vulnerability and adaptive capacity. According to the results obtained in the first evaluation, 10% of the farms were located in the moderately critical category of vulnerability, while for the second evaluation it increased to 59,62% of the farms in that category. Similarly, for the first evaluation, 26,67% of the farms were in the regular vulnerability category, while in the second evaluation they became 32,69% of the farms. The main limitations that affect coffee plantations more widely, based on the average of the two evaluations, were: increase in temperature, irregular rains, droughts, irregular coffee flowering, coffee pests and diseases and old coffee plantations. The practices that are helping to reduce vulnerability are: improvements in shade, establishment of improved varieties, soil conservation practices, water harvesting and irrigation, and improvements in fertilization. It is essential to continue strengthening the capacities of producer families in order to contribute to the consolidation of the strategies that are being implemented.

Keywords: Coffee cloud, adverse climate, resilient plantations

INTRODUCCIÓN

La caficultura juega un papel estratégico para el desarrollo del país, pues a través del fomento de esta actividad y su manejo adecuado, no solo se generan bienes y servicios económicos y sociales, sino también

bienes y servicios ecosistémicos, tales como alimentos, madera, leña, regulación climática, regulación del agua, formación de suelos y almacenamiento de CO₂, entre otros.

1 CATIE-Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, Costa Rica; Catherine.Schulz@catie.ac.cr

2 CATIE-PROCAGICA-IICA-UE, Costa Rica

3 CATIE-Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, Costa Rica

4 ANACAFE-Asociación Nacional del Café, Guatemala

En los últimos años el cambio climático ha impactado fuertemente en la caficultura de Guatemala. Con el propósito de conocer con más detalle estos impactos y proponer alternativas de adaptación, la Asociación Nacional del Café (ANACAFE), con apoyo del Programa Regional de Cambio Climático de USAID/CATIE (PRCC), implementó en todas las regiones del país la herramienta de análisis de la vulnerabilidad y capacidad adaptativa de fincas cafetaleras. Recientemente, el proyecto CATIE-PROCAGICA-IICA-UE, en coordinación con ANACAFE, ha dado seguimiento a las estrategias e innovaciones para el fortalecimiento de la capacidad adaptativa de las fincas cafetaleras (Soto *et al.* 2016).

En Guatemala el cultivo del café, en su gran mayoría, está establecido en sistemas agroforestales y se caracteriza por su alta densidad y cobertura de sombra; es un sistema estable, con una tasa de cambio de uso de la tierra muy baja; funciona como corredor biológico; favorece la conservación y generación de bienes y servicios ecosistémicos y contribuye con la adaptación y mitigación del cambio climático, entre otros aspectos.

La presente investigación tuvo como objetivo general contribuir a la evaluación de la vulnerabilidad y capacidad adaptativa de fincas cafetaleras de Guatemala. Se plantearon los siguientes objetivos específicos:

1. Comparar los resultados obtenidos de evaluaciones sucesivas sobre vulnerabilidad y capacidad adaptativa en áreas cafetaleras de Guatemala en relación a la línea base del 2016.
2. Evaluar fincas que implementan medidas de adaptación y aquellas que no lo hacen e identificar los principales factores por los cuales los caficultores no adoptan estas medidas.
3. Evaluar los alcances de la herramienta de diagnóstico de vulnerabilidad y planificación de medidas de adaptación en fincas cafetaleras, así como el potencial para su difusión.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para realizar el presente estudio se evaluaron distintas variables de fincas cafetaleras a nivel nacional. El trabajo de campo comenzó con una serie de reuniones con directivos de ANACAFE para organizar, planificar y realizar las actividades propuestas. También se realizaron reuniones con los técnicos de investigación de cada región cafetalera del país.

El estudio fue realizado con base en la herramienta de diagnóstico de vulnerabilidad y capacidad adaptativa,

desarrollada por Virginio Filho (2015) (Villareyna *et al.* 2017, Soto *et al.* 2016). El uso de la herramienta permite conocer el grado de vulnerabilidad y la capacidad adaptativa de fincas cafetaleras ante el cambio climático. Su aplicación consta de seis fases principales, las cuales se detallan en la Figura 1.



Figura 1. Fases de aplicación de modelo para evaluar el nivel de vulnerabilidad-adaptación al cambio climático en unidades productivas cafetaleras

Fuente: Villareyna *et al.* (2017)

A continuación se describen las fases de campo llevadas a cabo:

1. Selección de las fincas según objetivos del estudio.
2. Entrevista con cada productor para obtener la información necesaria sobre mitigación y adaptación, aclarando los conceptos relevantes (Cuadro 1). Las preguntas correspondieron a tres grupos de variables (Villareyna *et al.* 2017): exposición, impactos y capacidad adaptativa. Para cada pregunta se ofrecieron tres opciones de respuesta: 'Sí' cuando ocurre el fenómeno planteado, 'No', cuando no ocurre el fenómeno planteado y '+ o -' para cuando el fenómeno ocurre en un nivel intermedio (Cuadro 1). Luego de contestadas las 25 preguntas, se determinó la categoría de vulnerabilidad y adaptación en la que se encuentra la finca (Cuadro 2). Se asignó un valor de referencia para cada una de las opciones de respuesta: -1 para el 'Sí', 1 para el 'No' y 0,5 para el '+ o -'. Seguidamente se sumaron todos los valores obtenidos; el valor total se verificó con los de Cuadro 2 para determinar la categoría de vulnerabilidad y capacidad adaptativa correspondiente a la unidad productiva.
3. Se conversó con los productores sobre los resultados de la valoración y las posibles medidas/prácticas que se pudieran implementar. Lo más relevante fue destacar las limitaciones o preguntas con resultados de -1.
4. Se resumieron las opciones de medidas y se realizó la implementación de las prácticas.

Cuadro 1. Preguntas para evaluar la vulnerabilidad y capacidad adaptativa frente al cambio climático de unidades productivas cafetaleras de la región cafetalera de Guatemala

No.	VARIABLES	ALTERNATIVA		
		SI	+ -	NO
Variables de exposición				
1	¿Ha habido cambios en la temperatura en los últimos años?			
2	¿Las lluvias han sido irregulares en los últimos años?			
3	¿Ha habido un aumento de lluvia con inundaciones y derrumbes?			
4	¿Hay riesgo de huracanes y tormentas tropicales?			
5	¿Ha habido sequías (), disminución () o ausencia de agua () en la propiedad en los últimos años?			
6	¿La fuerza y frecuencia de vientos fuertes ha aumentado?			
Variables de impactos (sensibilidad + exposición)				
7	¿La mayoría de los suelos en los cafetales y otros usos de la tierra en la unidad productiva presentan señales de erosión?			
8	¿La fertilidad de los suelos ha disminuido en los últimos años?			
9	¿Hay floración irregular en las plantas de café?			
10	¿Hay incremento de caída de flores y frutos de café?			
11	¿En los últimos años se ha incrementado el daño de plagas y enfermedades en los cafetales?			
12	¿Existe disminución de la producción de café en los últimos años?			
Variables de capacidad adaptativa				
13	¿Faltan prácticas de conservación de suelo en la mayor parte del área de la unidad productiva?			
14	En los suelos de los cafetales (entre los surcos de las plantas) no hay cobertura de hierbas y hojarasca?			
15	¿La diversificación (árboles de servicio, maderables, frutales y otros cultivos de seguridad alimentaria) () y la diversidad de aves () en el cafetal es baja () o inexistente ()?			
16	¿Hay áreas con café a pleno sol (), poca sombra (<20%) () o con exceso de sombra (>70 %) () ?			
17	¿Existen cafetales con edad mayor a los 15 años () y con baja productividad ()?			
18	¿No se tienen variedades de café tolerantes a sequía y altas temperaturas? () ¿No se tienen variedades de café tolerantes/resistentes a enfermedades principales (por ejemplo roya (), ojo de gallo ())?			
19	¿Está ausente la práctica anual de poda y deshije en las plantas de café?			
20	¿Está ausente cada año la resiembra de plantas de café?			
21	¿Se aplica más de 3 qq de N/ha/año de origen sintético (químico)?			
22	¿No se aplican abonos orgánicos al cafetal ()? ¿No se maneja la pulpa () y aguas mieles ()?			
23	¿La mayoría de las quebradas y fuentes de agua están sin cobertura forestal?			
24	¿La mayoría de las áreas de otros usos de la unidad productiva no tienen árboles?			
25	¿No existen procesos organizativos sobre mitigación y adaptación al cambio climático?			
PUNTAJE TOTAL				

Fuente: Virgínio Filho (2015)

La primera evaluación con esta herramienta fue realizada en el 2016 a un grupo de 500 productores aproximadamente en las siete regiones cafetaleras del país. En el presente estudio se trabajó con una base de datos general de 97 fincas de esa primera evaluación (ANACAFE 2016).

Durante el periodo de noviembre del 2018 a mediados de marzo del 2019, se realizó la segunda evaluación de vulnerabilidad y capacidad adaptativa en las mismas siete regiones para un total de 53 fincas, con el fin de observar cambios en el sector cafetalero durante estos dos años. La muestra para el análisis comparativo en el tiempo fue de 30 fincas comunes entre la primera y segunda evaluación.

Cuadro 2. Categorías para evaluar la vulnerabilidad al cambio climático en unidades productivas cafetaleras

CATEGORÍA	Puntaje obtenido en la valoración				
1. Vulnerabilidad prácticamente ausente, excelente capacidad adaptativa.	DE	20	A	25	PUNTOS
2. Vulnerabilidad baja, alta capacidad adaptativa.	DE	15	A	19	PUNTOS
3. Vulnerabilidad y capacidad adaptativa moderada.	DE	8	A	14	PUNTOS
4. Vulnerabilidad y capacidad adaptativa regular.	DE	1	A	7	PUNTOS
5. Vulnerabilidad y capacidad adaptativa medianamente crítica.	DE	-6	A	0	PUNTOS
6. Vulnerabilidad y capacidad adaptativa crítica.	DE	-13	A	-7	PUNTOS
7. Vulnerabilidad y capacidad adaptativa muy crítica.	DE	-20	A	-14	PUNTOS
8. Totalmente vulnerable y sin ninguna capacidad adaptativa.	DE	-25	A	-21	PUNTOS

Fuente: Virginio Filho (2015)

Cuadro 3. Limitantes que impactan la vulnerabilidad y capacidad adaptativa (% de unidades productivas con valores -1) de fincas cafetaleras de Guatemala

Limitantes		Evaluación		Promedio
		2016	2018-2019	
1	Aumento de temperatura	80	100	90
2	Lluvias irregulares	80	100	90
3	Inundaciones y derrumbes	33,3	0	33,3
4	Huracanes y tormentas	26,6	0	26,6
5	Sequías	46,6	40	43,3
6	Vientos fuertes incrementados	33,3	36,6	34,95
7	Señales de erosión del suelo	13,3	0	13,3
8	Baja en fertilidad del suelo	40	0	40
9	Floración irregular del café	36,6	86,6	61,6
10	Caída de flores, frutos. Defoliación	30	86,6	58,3
11	Plagas y enfermedades del café	46,6	80	63,3
12	Reducción en producción de café	40	86,6	63,3
13	Falta de conservación de suelo	26,6	10	18,3
14	Suelos sin cobertura	23,3	63,3	43,3
15	Baja diversificación	16,6	20	18,3
16	Exceso de sombra y/o sol	20	53,3	36,65
17	Cafetales viejos	43,3	60	51,65
18	Ausencia de variedades mejoradas	23,3	86,6	54,95
19	Deficiencia de podas y deshojas de café	20	13,33	16,65
20	Ausencia de resiembra de café	6,66	23,3	14,98
21	Altas dosis de N al cafetal	20	76,6	48,3
22	Ausencia de abonos orgánicos	23,3	46,6	34,95
23	Ausencia de árboles en fuentes de agua	26,6	6,66	16,63
24	Otros usos de la finca sin árboles	23,3	46,6	34,95
25	Falta de organización para adaptación	50	50	50

Luego se procedió a digitalizar los datos en hojas electrónicas en Microsoft Excel. Tanto para los datos cuantitativos como para los cualitativos del estudio, se utilizó el programa INFOSTAT. Los análisis estadísticos realizados correspondieron a tablas de contingencia con modelos lineales generales y mixtos con referencia al índice general de vulnerabilidad y capacidad adaptativa.

Para el tercer objetivo específico, sobre los alcances de la herramienta de diagnóstico de vulnerabilidad y planificación de medidas de adaptación en fincas cafetaleras, se hicieron entrevistas a informantes claves que tuvieron o tienen contacto con la herramienta de vulnerabilidad y capacidad adaptativa de *Coffee Cloud*. Para este objetivo se consideraron datos recopilados en 53 fincas y 14 técnicos; los resultados fueron interpretados en función de porcentajes de respuestas por categorías de referencia.

RESULTADOS

Evaluación de las limitantes que impactan la vulnerabilidad climática

Las evaluaciones de las fincas permitieron identificar los aspectos críticos (valores -1) que impactan en la vulnerabilidad y capacidad adaptativa frente al cambio climático (Cuadro 3). Considerando los promedios de las dos evaluaciones realizadas (2016 y 2018-2019), y los incrementos de casos por limitantes críticas, las principales afectaciones identificadas fueron: aumento de temperatura, lluvias irregulares, floraciones irregulares del café, incremento en caída de flores, frutos y defoliación, incremento de plagas y enfermedades, reducción de la producción, cafetales viejos y ausencia de variedades mejoradas. Otra limitante que afecta muchas fincas es la falta de procesos de organización para la adaptación.

Categorías de vulnerabilidad y capacidad adaptativa identificadas

Para la primera evaluación (2016), la mayoría de las fincas se ubicó en la categoría de vulnerabilidad y capacidad adaptativa moderada, seguida por la categoría regular, medianamente crítica, crítica y muy crítica, siendo las tres últimas categorías encontradas para un grupo menor de fincas. Como se puede observar en el Cuadro 4, no se encontró ninguna finca en las categorías 1 (vulnerabilidad prácticamente ausente y excelente capacidad adaptativa) y 2 (baja vulnerabilidad y capacidad adaptativa alta).

Cuadro 4. Análisis estadístico (tablas de contingencia) para categorizar la vulnerabilidad y capacidad adaptativa de fincas cafetaleras de Guatemala (evaluación 2016)

Categoría vulnerabilidad	Fincas (no.)	Fincas (%)
1. Ausente	0	0
2. Baja	0	0
6. Crítica	2	6,67
5. Medianamente crítica	3	10,00
3. Moderada	16	53,33
7. Muy crítica	1	3,33
4. Regular	8	26,67
Total	30	100,00

Estadístico	Valor	gl	p
Chi Cuadrado Pearson	25,67	4	<0,0001
Chi Cuadrado MV-G2	23,85	4	0,0001
Coef. Conting. Cramer	0,92		
Coef. Conting Pearson	0,68		

La segunda evaluación (2018-2019), determinó que la mayoría de las fincas se ubican en la categoría de vulnerabilidad y capacidad adaptativa número 5 (medianamente crítica), seguida por la categoría 4 (regular). Un menor número de fincas se ubicaron en las categorías 6 (crítica) y 3 (moderada). Los resultados apuntan a que hay que fortalecer de manera importante la elaboración y/o el seguimiento de planes de implementación de medidas de adaptación en las fincas cafetaleras relacionadas.

Cuadro 5. Análisis estadístico (tablas de contingencia) para categorizar la vulnerabilidad y capacidad adaptativa de fincas cafetaleras de Guatemala (evaluación 2018-2019)

Categoría vulnerabilidad	Total	Porcentaje
6. Crítica	3	5,77
5. Medianamente crítica	31	59,62
3. Moderada	1	1,92
7. Muy crítica	0	0,00
4. Regular	17	32,69
Total	53	100,00

Estadístico	Valor	gl	P
Chi Cuadrado Pearson	44,92	3	<0,0001
Chi Cuadrado MV-G2	49,07	3	<0,0001
Coef. Conting. Cramer	0,97		
Coef. Conting Pearson	0,68		

En la Figura 2 se muestran los cambios que han ocurrido durante los dos años evaluados.

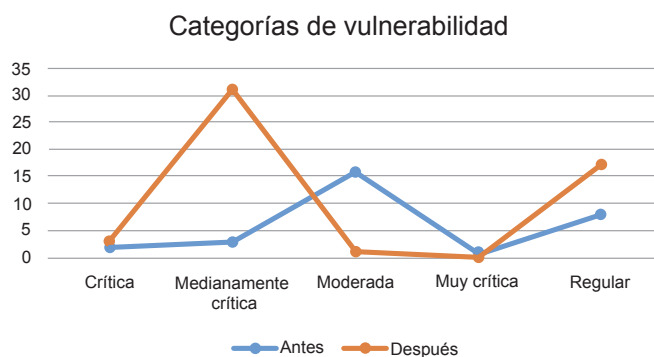


Figura 2. Cambios en el grado de vulnerabilidad de fincas cafetaleras de Guatemala, según las evaluaciones del 2016 (línea celeste) y 2018-2019 (línea naranja)

Los resultados de las evaluaciones 2016 y 2018-2019 indican que la vulnerabilidad de las fincas de los productores es mayor dos años después de la primera evaluación. En síntesis, ha habido un agravamiento de

la situación de las fincas cafetaleras lo que ha llevado a que su vulnerabilidad haya aumentado en función de las principales limitantes diagnosticadas (Cuadro 3).

Los resultados de este estudio guardan correspondencia con los de otro realizado en Honduras por Jiménez *et al.* (2017), quienes encontraron que la mayoría de los productores cafetaleros se encontraban en una categoría de vulnerabilidad medianamente crítica.

Evaluación de la implementación de las medidas de adaptación

a) Utilización de sombra en los cafetales

Considerando el total de la muestra del presente estudio (53 fincas), el 69% de los productores utilizan sombra en sus cafetales, mientras que en un 31% de las fincas, los cafetales están a plena exposición solar. A nivel de regiones cafetaleras, los resultados indican que en las regiones II, III y I están las fincas que cuentan con sombra en sus cafetales (80 a 100% de las fincas). Otro grupo lo conforman las regiones VI (Figura 3), V, IV y VII donde entre un 64 a 50% de los cafetales cuentan con sombra. Las regiones IV y VII corresponden a las que tienen más fincas expuestas a los efectos negativos de la plena exposición solar en sus cafetales.

b) Variedades mejoradas de café

En total, el 96% de todas las fincas evaluadas cuentan con variedades de café mejoradas, mientras que sólo un 4% todavía no las tiene. Esta práctica es de amplia cobertura y representa un avance importante para el fortalecimiento de la adaptación al cambio climático y de la sostenibilidad de las fincas. En las regiones I, II, III, IV, V y VII se encontraron variedades mejoradas en el 100% de las fincas analizadas, mientras en la región VI se encontraron variedades mejoradas en el 86% de las fincas.



Figura 3. Sombra en cafetales de las fincas evaluadas en la región VI-Las Verapaces, Guatemala

c) Prácticas de conservación de suelo

El 98% de las fincas evaluadas están aplicando alguna práctica de conservación de suelos. En las regiones I, II, III, IV, V y VII el 100% de las fincas utilizan medidas de protección y conservación, mientras que en la región VI se aplican en el 93% de las fincas. Las prácticas de conservación de suelos son medidas importantes que se realizan en las fincas, aunque la mayoría no lo hace de manera integral.

d) Cosecha de agua

La mayoría de las fincas cuentan con medidas de cosecha de agua. Las regiones II, VII, V, III y VI conforman el grupo donde esta práctica es muy común (86 a 100% de las fincas). En un segundo grupo están las regiones IV y I (75 y 80% de las fincas con la práctica, respectivamente) (Figura 4).

e) Programa de fertilización de cafetales

El 100% de las fincas indicaron que realizan programas anuales de fertilización de manera equilibrada. Lo anterior



Figura 4. Cosecha de agua en algunas fincas cafetaleras de Guatemala. Fotos: C. Schulz

indica que esta práctica representa una acción importante para el fortalecimiento de la capacidad adaptativa de los productores y sus fincas. Los productores demuestran estar conscientes de la importancia de mantener sus programas de fertilización, aun cuando los precios internacionales del café no son muy atractivos.

Conocimiento sobre la herramienta de análisis de vulnerabilidad y capacidad adaptativa

El 53,8% de los productores indicaron no conocer la herramienta de diagnóstico, mientras que el 42,3% dijo que sí, y un 3,8% indicó tener algún conocimiento. En términos relativos, la región que más conoce la herramienta de diagnóstico es la región I (80% de los productores), luego la región V (60%) y la región IV (50%). La región con menor conocimiento del modelo de diagnóstico fue la región VI (85,7%), seguida de la región VII (66,7%) y la región III (55,5% de los productores). Es muy probable que a la hora de las evaluaciones en algunas zonas no se detalló claramente a los productores en qué consistía el instrumento.

Según la evaluación realizada, el 100% de los técnicos conocen la herramienta de evaluación y afirmaron que les parece bastante importante para su uso personal y el de los productores que conforman las zonas cafetaleras del país.

DISCUSIÓN

Las diferencias entre departamentos en cuanto a la vulnerabilidad y capacidad adaptativa fueron bastante notorias debido a las condiciones ambientales y los microclimas propios de cada región cafetalera. Resultados similares fueron indicados por Jiménez *et al.* (2017) quienes encontraron diferencias entre las regiones cafetaleras de Honduras en cuanto a vulnerabilidad y capacidad adaptativa. Los resultados obtenidos en el presente estudio ubican a la Región VI como la más vulnerable y a la V como la menos vulnerable a los cambios de temperatura y ciclos de lluvia.

Los productores coinciden en que un adecuado plan nutricional del café, la diversificación del cafetal y de la sombra son prácticas fundamentales para hacerle frente a los cambios que se están dando en cada región como consecuencia del cambio climático, al igual que la utilización de variedades resistentes a sequías, a heladas y plagas y enfermedades. Estos resultados reafirman lo expresado por CEPAL (2014), Virginio Filho *et al.* (2015) y Sanogo *et al.* (2017).

El 90% de los productores de café vinculados a la presente investigación, están implementando medidas de mitigación y adaptación al cambio climático. Estos resultados son similares a los de Virginio Filho (2018) provenientes de un estudio de evaluación de la vulnerabilidad y capacidad adaptativa en fincas cafetaleras de cooperativas del consorcio COOCAFE en Costa Rica.

Con base en las limitantes críticas identificadas y en el potencial de multibeneficios de innovaciones claves, se priorizaron de manera participativa cinco prácticas como las más importantes para su implementación en las fincas visitadas durante la fase de campo: 1. Rediseño y manejo o implementación de sombra en cafetales; 2. Variedades mejoradas de café y adaptadas al cambio climático; 3. Prácticas de conservación de suelo; 4. Cosecha de agua; 5. Programa de fertilización equilibrado. Virginio Filho (2018), en una validación de prácticas de adaptación y reducción de vulnerabilidad en una red de fincas en Costa Rica, coincide con la mayoría de las prácticas promovidas por productores en Guatemala. Estas prácticas tienen un buen potencial para promover la reducción de la vulnerabilidad ante el cambio climático.

En la presente investigación, el 100% de los técnicos y el 42% de los productores indicaron conocer la herramienta de diagnóstico de vulnerabilidad y capacidad adaptativa de cafetales ante el cambio climático y destacaron su relevancia para orientar las acciones de reducción de vulnerabilidad. A su vez, Villareyna *et al.* (2017) destacan la importancia dada por cooperativas de productores de café de Costa Rica para la aplicación de la herramienta de diagnóstico, así como para la implementación de diferentes prácticas para fortalecer la capacidad adaptativa frente al cambio climático.

CONCLUSIONES

La comparación entre las dos evaluaciones sucesivas (2016 y 2018-2019), permite concluir que hubo un incremento de fincas con mayor vulnerabilidad y menor capacidad adaptativa frente al cambio climático. Los resultados por región indicaron que las fincas evaluadas en las regiones VII y V fueron las menos vulnerables, mientras que las fincas de las regiones I y VI las de mayor vulnerabilidad.

La evaluación de fincas, con y sin medidas de adaptación priorizadas, permitió determinar que efectivamente dichas prácticas disminuyen la vulnerabilidad y aumentan la capacidad adaptativa. Las prácticas de uso de la

sombra en cafetales, variedades mejoradas, prácticas de conservación de suelos y cosecha de agua, posibilitaron mayores índices y mejores categorías de vulnerabilidad y capacidad adaptativa de fincas cafetaleras ante el cambio climático. Estas prácticas se han propuesto a los productores para que tengan una mejor adaptación, ya que representan las cinco más importantes y principales que se proponen por medio de la herramienta. Empleando estas prácticas se logra contrarrestar varias limitantes al mismo tiempo. Por ello es muy importante que los productores las implementen en sus plantaciones pues contribuyen a contrarrestar las afecciones y mejorar la cantidad y calidad de sus producciones, que se han visto afectadas por plagas y enfermedades durante estos últimos años.

Los productores de las regiones VI, VII y III fueron los que menos conocen la herramienta de diagnóstico de vulnerabilidad y capacidad adaptativa. En estas regiones habría que intensificar el seguimiento y el intercambio de información para fortalecer la comprensión sobre la importancia del análisis de las limitantes y la priorización de acciones para la reducción de la vulnerabilidad. Por otro lado, la totalidad de los productores entrevistados en las regiones I y II, y todos los técnicos y la persona encargada de la herramienta vinculados al estudio, reconocieron la importancia de contar con la herramienta de diagnóstico pues permite orientar la definición de medidas de adaptación. Esta herramienta validada por el PRCC/CATIE/USAID/ANACAFE es muy efectiva para determinar las categorías de vulnerabilidad y capacidad adaptativa para cada unidad productiva, así como para apoyar la toma de decisiones para la priorización de medidas o prácticas para la reducción de la vulnerabilidad.

RECOMENDACIONES

- Fortalecer la colaboración interinstitucional, con la coordinación de ANACAFE, para masificar el diagnóstico, monitoreo de la vulnerabilidad y capacidad adaptativa de fincas cafetaleras frente el cambio climático, así como el seguimiento a la implementación de prácticas e innovaciones que busquen hacer frente a los principales desafíos.
- Fortalecer la capacidad de técnicos y familias productoras para la implementación adecuada del conjunto de medidas de adaptación validados en diferentes estudios.
- Promover estrategias de apoyo al financiamiento, incentivos y asistencia técnica vinculada a medidas de adaptación y mitigación a nivel de las diferentes zonas cafetaleras del país.

- Intensificar la promoción de las prácticas de adaptación con alto valor de importancia propuestas por la herramienta de diagnóstico de vulnerabilidad para que los productores sigan reduciendo las categorías de vulnerabilidad en sus unidades productivas.
- Reforzar la institucionalidad del sector cafetalero promoviendo la unificación e interacción de las instituciones, tanto públicas como privadas, que trabajan bajo enfoques iguales o similares.
- Modernizar el sistema de alertas tempranas actual, para poderla hacer llegar a cada uno de los productores en el momento adecuado; sin embargo, antes de esto se requiere capacitar a los productores en cuanto al uso de la información climática, para lo cual se pueden utilizar los distintos medios de comunicación con los que se dispone en la actualidad.

BIBLIOGRAFÍA

- ANACAFE (Asociación Nacional del Café, Guatemala). 2016. Política de Ambiente y Cambio Climático para el Sector Café de Guatemala. s.l. 16 p.
- CEPAL (Comisión Económica de las Naciones Unidas para América Latina y El Caribe). 2014. Informe de la reunión de expertos sobre el café y el cambio climático: Impactos potenciales y líneas de posible acción. Ciudad de Panamá, Panamá. 20 p.
- Jiménez, G; Detlefsen, G; Virginio Filho, E. de M. 2017. Vulnerabilidad y capacidad adaptativa al cambio climático de pequeños productores de café en Honduras. Trabajo presentado en el XXIII Simposio Latinoamericano de Caficultura, San Pedro Sula, Honduras, 23 al 26 de agosto de 2017. PROMECAFE-IHCAFE. 17 p.
- Sanogo, K; Binam, J; Bayala, J; Villamor, GB; Kalinganire, A; Dodiomon, S. 2017. Farmers' perceptions of climate change impacts on ecosystem services delivery of parklands in southern Mali. *Agroforest Syst* 91:345-361. DOI 10.1007/s10457-016-9933-z.
- Soto, G; Florian, E; Virginio Filho, E. de M; Astorga, C. 2016. Reduciendo la vulnerabilidad al cambio climático del sector cafetalero en Guatemala: Manual técnico para el fortalecimiento del sector de café en Guatemala frente al cambio climático. s. l., CATIE-PRCC-CNCG-USAID-Agencia de Cooperación Italiana. 107 p.
- Villareyna, R; Virginio Filho, E. de M; Jones, C; Florian, E; Soto, G; Astorga, C. 2017. Acciones para fortalecer la adaptación y mitigación del cambio climático en el sector cafetalero de Costa Rica: Manual técnico para reducir la vulnerabilidad de fincas cafetaleras frente al cambio climático. s. l., PRCC-USAID/PROCAGICA-Unión Europea, IICA, CATIE-Fundación café Forestal. 101 p.
- Virginio Fillho, E. de M; Florián, E; Astorga, C. 2015. Fortaleciendo procesos para la adaptación y mitigación del cambio climático con familias productoras de café en Honduras. s. l., USAID-PRCC-Proparque. 106 p.
- Virginio Filho, E. de M. 2018. Impulsando la adaptación en fincas cafetaleras de cooperativas del consorcio Coo cafe, Costa Rica. s. n. t. (Informe final de consultoría).

Avances de Investigación

Evaluación de prácticas para reducir la vulnerabilidad y aumentar la capacidad adaptativa en fincas cafetaleras ante el cambio climático en Costa Rica

Itzayana Garth Lira¹, Elias de Melo Virginio Filho²,
Rolando Cerda³, Guillermo Detlefsen³, Carlos Jones⁴

RESUMEN

Los efectos latentes de la variabilidad climática sobre el desarrollo y productividad del café han generado incertidumbre en el sector cafetalero en Costa Rica. Ante esta problemática, el consorcio COOCAFE ha implementado un proceso de capacitación, evaluación y seguimiento a un grupo de fincas asociadas, ubicadas en las provincias de Guanacaste, San José y Puntarenas. Para este proceso se utilizó la metodología de Virginio Filho *et al.* (2018). La investigación tuvo como primer objetivo evaluar el impacto inicial de algunas prácticas para reducir la vulnerabilidad y aumentar la capacidad adaptativa en fincas cafetaleras, entre octubre de 2018 a febrero de 2019. Como parte del segundo objetivo se contrastaron fincas en las cuales se aplicaron las prácticas recomendadas con fincas que no las aplicaron. Para el análisis estadístico se utilizaron tablas de contingencia y la prueba no paramétrica de Wilcoxon (Man-Whitney U). Los resultados de la evaluación del año 2018-2019 ubicaron al 57,8 % de los productores en la categoría regular; 21% en la medianamente crítica, 10,5% en la crítica y 10,5 % en la moderada. La presencia de erosión, incremento de caída de flores y frutos y disminución en la producción de café, las unidades productivas con cobertura forestal, fuentes de agua con cobertura forestal y estar vinculados a procesos organizativos sobre mitigación y adaptación frente al cambio climático, fueron las variables que se relacionaron con las categorías de capacidad adaptativa regular y moderada, respectivamente. No se encontraron diferencias significativas entre fincas pares; sin embargo, se identificaron aportes positivos a nivel de categoría de la práctica introducción de variedades mejoradas y siembra de árboles. En cuanto a las principales limitantes que enfrentaron los productores, se encontró la falta de apoyo técnico y de seguimiento por parte de las entidades gubernamentales, la fluctuación y los bajos precios del café y la falta de recursos económicos para implementar buenas prácticas productivas y de adaptabilidad.

Palabras clave: Clima adverso, plantaciones resilientes, capacitación, prácticas de adaptación-mitigación.

ABSTRACT

Latent effects of climate variability on coffee development and productivity have generated uncertainty in the coffee sector in Costa Rica. Given this problem, COOCAFE consortium implemented an evaluation and monitoring process for a group of associated farms, located in the provinces of Guanacaste, San José, and Puntarenas. This study applied the methodology of Virginio Filho *et al.* (2018). The first objective of this study was to evaluate the initial impacts of practices that could reduce the coffee farm vulnerability and increase the adaptive capacity of coffee farms to climate change. The study was implemented between October 2018 to February 2019. The second objective of the study was to contrast farms that implemented recommended practices vs those farms that did not apply the recommended best practices. A statistical analysis, contingency tables and a non-parametric Wilcoxon test (Man-Whitney U) were used. The results of the 2018-2019 evaluation placed 57,8 % of the coffee farmers in the regular category; 21% in the moderately critical, 10,5 % in the critical and 10,5 % in the moderate. The presence of erosion, increased fall of flowers and fruits and decrease in coffee production, productive units with forest cover, water sources with forest cover and being linked to organizational processes on mitigation and adaptation to climate change, is related to regular and moderate adaptive capacity categories, respectively. No differences were found between peer farms; however, positive contributions were identified with those associated to introduction of improved varieties and tree planting. The main limitations that coffee farmers had were the lack of technical support and monitoring by government entities, fluctuation and low prices of coffee, and lack of financial resources to best practices.

Keywords: Adverse climate, resilient plantations, training, adaptation-mitigation practices.

1 CATIE-Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, Costa Rica; Itzayana.Garth@catie.ac.cr

2 CATIE-PROCAGICA-IICA-UE, Costa Rica

3 CATIE-Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, Costa Rica

4 COOCAFE-Consorcio de Cooperativas de Caficultores de Guanacaste y Montes de Oro, R.L., Costa Rica

INTRODUCCIÓN

En Costa Rica, la producción cafetalera depende de miles de pequeños productores que aportan aproximadamente el 42% de la producción nacional (ICAFE 2014, citado por IICA 2017). Los pequeños productores de café están siendo afectados por las pérdidas productivas-económicas asociadas a los efectos del cambio climático y a la poca o lenta capacidad de adaptación. Un claro ejemplo de esto se reflejó durante la epidemia de la roya del café (*Hemileia vastatrix*) que, en Centroamérica, causó gran impacto a partir del año 2012 ocasionando grandes pérdidas en la producción de café (IICA 2017). Camargo (2010), mencionó en su estudio “El impacto de variabilidad climática y cambio climático sobre el cultivo de café en Brasil”, que la variabilidad climática es uno de los principales factores que afecta el rendimiento y la producción del café, ya que las condiciones ambientales están ligadas estrechamente al desarrollo y crecimiento de las plantas a lo largo de su ciclo de vida.

Debido a la alta vulnerabilidad del sector cafetalero al cambio climático, en los países centroamericanos se creó el “Programa Regional de Cambio Climático” (PRCC), como iniciativa de cooperación de la agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (USAID) e implementado por CATIE, para buscar alternativas para fortalecer el sector. Esta iniciativa apoyó a seis países centroamericanos, entre ellos Costa Rica. El equipo de expertos del PRCC, en el año 2016, desarrolló manuales técnicos para apoyar a los productores para reducir la vulnerabilidad de fincas cafetaleras en Guatemala, Honduras, Nicaragua y Costa Rica (CATIE 2015). Nicaragua y Costa Rica, además del apoyo del PRCC, también contaron con apoyo del proyecto CATIE-IICA-PROCAGICA, financiado por la Unión Europea, el cual impulsó la elaboración de los manuales de referencia y la implementación de las estrategias. El manual técnico que se elaboró integra una herramienta que permite evaluar la vulnerabilidad y capacidad adaptativa de unidades productivas de café ante el cambio climático.

A partir de los cambios experimentados en el clima de las regiones productoras de café en Costa Rica, y en particular en las áreas de influencia de las cooperativas del consorcio COOCAFE, la Fundación Café Forestal con el apoyo de FUNDECOOPERACIÓN-Fondo de Adaptación, buscó implementar un proceso de capacitación con productores para reducir la vulnerabilidad y aumentar la capacidad adaptativa de la producción de café ante el cambio climático (Virginio Filho 2018).

En el proceso de capacitación, se evaluaron variables asociadas a la exposición, los impactos productivos y el potencial de adaptación que tenían los cafetales en 24 fincas pertenecientes a cooperativas socias de COOCAFE. En este proceso se utilizó el enfoque y herramientas desarrolladas por Virginio Filho *et al.* (2018). El presente trabajo de investigación evaluó el impacto inicial de buenas prácticas asociadas a la reducción de la vulnerabilidad y al aumento de la capacidad adaptativa en fincas cafetaleras de cooperativas del consorcio COOCAFE. Se llevó a cabo mediante la identificación de los factores de influencia a nivel de vulnerabilidad y capacidad adaptativa de las fincas cafetaleras, tales como altitud, actividades de manejo, cantidad de insumos utilizados y actividades productivas, entre otros.

Se realizó un contraste entre fincas pares, con el objetivo de comparar fincas en las cuales se aplicaron las prácticas recomendadas durante el proceso de análisis de las unidades productivas y fincas en las que no aplicaron estas prácticas, tomando en cuenta factores de sanidad y productividad. Esta comparación se realizó con el fin de evaluar el impacto a corto plazo de prácticas de fincas cafetaleras pertenecientes a cooperativas del consorcio COOCAFE que contribuyen a reducir la vulnerabilidad y aumentar la capacidad adaptativa ante el cambio climático. Por último, se identificaron las principales limitaciones que los productores tuvieron a la hora de implementar la herramienta.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación y periodo de estudio

El estudio se realizó en los cantones de Hojancha, Nicoya, Nandayure, Tilarán y Abangares en la región cafetalera norte; Montes de Oro, Puntarenas y Coto Brus en la de Puntarenas; San Carlos y Sarapiquí en la de Alajuela y León Cortés en la de San José. Las fincas donde se realizó el estudio están afiliadas a las cooperativas COOPECERROAZUL, COOPEPILANGOSTA, COOPEELDOS, COOPEMIRAMONTES, COPELLANOBONITO, COOPESABALITO Y COOPESARAPIQUI; todas ellas asociadas al consorcio COOCAFE. Las evaluaciones se llevaron a cabo entre octubre 2018 y febrero 2019.

Muestra

En total se aplicó la evaluación a 38 productores. En promedio, las fincas visitadas se encontraron a una altura promedio de 952,6 msnm (con mínimos de 392 y máximos de 1700 msnm) y el área promedio del cafetal fue de 3,9 ha (con mínimos de 0,15 y un máximo de 20 ha).

Para seleccionar las fincas, las cooperativas definieron una lista preliminar de criterios como referencia. Los criterios que se consideraron para seleccionar las fincas fueron: haber participado en capacitaciones previas y estar dispuestos a apoyar procesos de capacitación y seguimiento (Virginio Filho 2018).

Para definir las fincas seleccionadas a ser contrastadas se tomaron en consideración los siguientes criterios: cercanía (fincas ubicadas dentro del mismo cantón), edad de la plantación (edad de parcelas de café con promedios similares), tamaño de la plantación (de <1-2,5 ha, plantación pequeña, 3-5 ha plantación mediana, 6 ha> plantación grande), e importancia económica (cafetal como fuente principal de ingresos). La comparación se realizó entre el grupo de 24 productores participantes del proyecto y los 14 productores que fueron anexados a la muestra.

Descripción de la herramienta

El enfoque metodológico busca integrar a las familias productoras y al personal técnico a través de una valoración de variables cualitativas que se ven reflejadas en las 25 preguntas de la herramienta (ver Cuadro 1, página 196 de esta revista). Los resultados de la evaluación permiten determinar el nivel de vulnerabilidad y capacidad adaptativa de la unidad productiva (Villarreyra *et al.* 2018). La metodología para el diagnóstico participativo estuvo compuesta por los siguientes pasos: 1) Selección de fincas, 2) Entrevistas a los productores, 3) Reflexiones en grupo sobre las limitantes y soluciones, 4) Reporte de resultados y el seguimiento de la implementación de las acciones.

Las fincas se pueden ubicar en ocho categorías: vulnerabilidad ausente y capacidad adaptativa excelente (VACAE, 20-25 puntos), vulnerabilidad baja y alta capacidad adaptativa (VBACA, 15-19 puntos), VCAM moderada (8-14 puntos), VCAR regulares (1-7 puntos), VCAMC medianamente crítica (-6 a 0 puntos), VCAC crítica (-13 a -7 puntos), VCAMYC muy crítica (-20 a -14) y totalmente vulnerable y sin ninguna capacidad adaptativa (TVSCA, -25 a -21). Tomando en cuenta la categoría en la que son ubicadas las fincas, se realizó la reflexión de limitantes y soluciones; posteriormente se definieron las medidas a tomar.

Caracterización de las actividades de manejo en el cafetal

Por medio de entrevistas y utilizando formatos desarrollados por Virginio Filho (2009), se recopiló la información necesaria para caracterizar las actividades de manejo realizadas en el ciclo anual del café, cantidad

de insumos utilizados para el manejo del cafetal, principales actividades productivas realizadas en la finca y la producción de café por hectárea en los últimos dos años.

Evaluación de fincas pares a contrastar

Se realizó un diagnóstico de enfermedades, plagas y biocontroladores naturales del café. Para esto se tomaron cuatro muestras cada una de diez plantas. De cada planta se seleccionaron 3 bandolas (una en la parte de superior, una central y una de la base) y se realizó un conteo de hojas con roya (*Hemileia vastatrix*), *Simplicillium* sp. (hongo controlador de roya), *Mycodiplosis* (larva que controla roya), antracnosis (*Colletotrichum coffeanum*), ojo de gallo (*Mycena citricolor*), mancha de hierro (*Cercospora coffeicola*), minador de la hoja (*Leucoptera coffeella*), número de hojas totales, frutos totales, frutos con broca (*Hypothenemus hampei*), frutos brocados con *Beauveria bassiana* (controlador natural de la broca) y nudos totales. El formato usado fue el diagnóstico de enfermedades, insectos y biocontroladores naturales del café, simultáneamente con a los formatos de la lista de productos obtenidos de la finca en un año, lista de insumos utilizados en el cafetal por año y lista de actividades de manejo anual del cafetal (Virginio Filho 2009). En esta evaluación se dio importancia mayor a la implementación de las prácticas recomendadas durante la realización del proyecto, las cuales fueron manejo de sombra (uso de podadora telescópica), introducción de lotes de variedades mejoradas, sistema de cosecha de agua, producción de abonos y fertilizantes orgánicos, construcción de abonera, siembra de árboles y manejo de malezas con motoguadaña. Para comprobar que los productores realizaron las prácticas, en cada visita se realizó un recorrido para, posteriormente, hacer un listado de observaciones de las prácticas implementadas.

Principales limitantes para la adopción de prácticas

Se utilizó un cuestionario de siete preguntas semia-biertas que incluyeron: ¿Considera que la adopción de las prácticas, son sencillas de implementar y por qué?, ¿Cuáles cree usted pueden ser factores limitantes para la implementación de las prácticas y por qué?, ¿Qué factores podrían hacer más fácil la adopción de estas medidas?, ¿Qué prácticas ya está implementando y qué tan complicado ha sido el proceso de ejecución?, ¿Qué otras variables de importancia (no incluidas en la herramienta), considera que se deben explorar?, ¿Qué otras prácticas podrían ser aplicadas al proceso de adaptabilidad? y ¿Qué recomendaciones haría para abordar estas limitantes?.

Estas preguntas fueron analizadas por medio de la metodología de análisis de contenido, la cual tiene como propósito básico la identificación de determinados elementos componentes de los documentos escritos: letras, sílabas, palabras, frases, entre otros, y su clasificación bajo la forma de variables y categorías para la explicación de fenómenos sociales bajo investigación (Fernández 2002). El sondeo fue aplicado al grupo inicial de 24 productores participantes del proyecto, tomando en cuenta que estos ya habían sido evaluados y estaban realizando prácticas discutidas durante la evaluación de la finca.

Procesamiento de información

La información obtenida fue analizada por medio del programa InfoStat versión profesional 2017. El análisis multivariado permitió analizar simultáneamente más de dos variables aleatorias correlacionadas (Balzarini *et al.* 2008). Se utilizó estadística descriptiva, como las tablas de frecuencia, medias resumen y tablas de contingencia (forma tabular de presentar datos categorizados); este análisis es de utilidad para el análisis simultáneo de dos o más variables categorizadas y para determinar si existió dependencia o independencia de las variables analizadas. De forma gráfica se utilizaron análisis de correspondencia (gráfico biplot). De igual manera se realizó la prueba no paramétrica basada en los rangos de las observaciones originales Willcoxon (Man-Whitney U), la cual permitió probar la hipótesis de que dos muestras aleatorias independientes provinieron de la misma población (Balzarini *et al.* 2008) y prueba T para muestras independientes. El nivel de significancia utilizado fue del 10% (p valor = 0,1). Para la identificación de las principales limitantes se realizó un conglomerado con las respuestas más frecuentes encontradas en la encuesta. De esta manera se identificaron las limitantes utilizando tablas de frecuencia y se pudieron indicar recomendaciones para abordar las limitantes.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los 38 cafetales visitados se distribuyeron en cuatro categorías: variabilidad y capacidad adaptativa crítica (VCAC), vulnerabilidad y capacidad adaptativa medianamente crítica (VCAMC), vulnerabilidad y capacidad adaptativa moderada (VCAM) y vulnerabilidad y capacidad adaptativa regular (VCAR) (Figura 1). Esto coincide con los resultados del trabajo presentado por Jiménez *et al.* (2017), en el cual se identificaron ocho categorías que variaron en el puntaje obtenido entre 20 a 25, estando las categorías más altas asociadas a la adaptabilidad y las de puntaje de -25 a -21 puntos a las de baja vulnerabilidad.

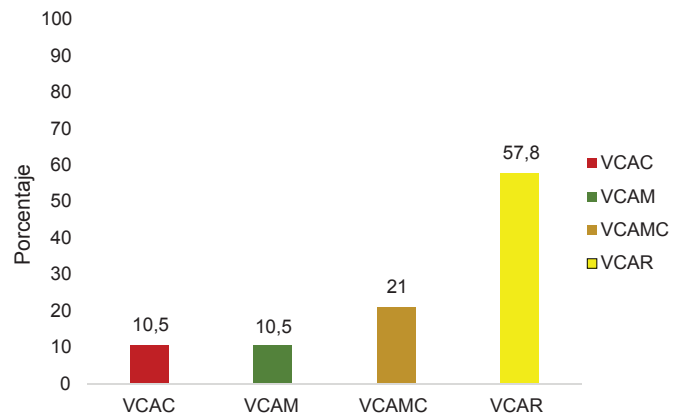


Figura 1. Resultados de la evaluación de vulnerabilidad y capacidad adaptativa de unidades productivas de café de cooperativas del consorcio de COOCAFE de Costa Rica. **Nota:** VCAC: vulnerabilidad y capacidad adaptativa crítica, VCAM: vulnerabilidad y capacidad adaptativa moderada, VCAMC: vulnerabilidad y capacidad adaptativa medianamente crítica, VCAR: vulnerabilidad y capacidad adaptativa regular

En promedio, las principales limitaciones fueron: cambios en temperatura (97%), lluvias irregulares (92%), riesgo de huracanes y tormentas tropicales (55%), sequías en los últimos años (55%), frecuencia de vientos fuertes (61%), incremento de plagas y enfermedades (71%), disminución en producción de café en los últimos años (50%) y la no aplicación de abonos orgánicos al cafetal (55%). Estos resultados son consistentes con los obtenidos en las investigaciones de Plazaola (2018) y Schulz (2018). Sin embargo, no se encontraron diferencias significativas entre las cooperativas con respecto a las categorías en las que fueron ubicadas las fincas (p valor = 0.240).

En cuanto a las variables de impacto, tres mostraron relación con respecto a la variable categoría (Figura 2). Estas variables fueron: suelos con presencia o señales de erosión (EroSuelo, $p=0.0228$), incremento de caída de flores y frutos (CaidaFIFr $p=0.0445$) y disminución de la producción de café (Prod $p=0.0182$). El estudio realizado por Plazaola (2018) en Honduras, presenta las limitantes significativas con respecto a las categorías como, por ejemplo, riesgo de huracanes, sequías, presencia de vientos fuertes, aumento de plagas y enfermedades y disminución en la producción.

Las variables de capacidad adaptativa que se encontraron relacionadas con la categoría de las fincas fueron (Figura 3): suelos con cobertura de hierbas y hojarasca (CobSuelo $p=0.0051$), fuentes de agua con cobertura forestal (FAGuaCob $p=0.0014$) y el estar vinculado

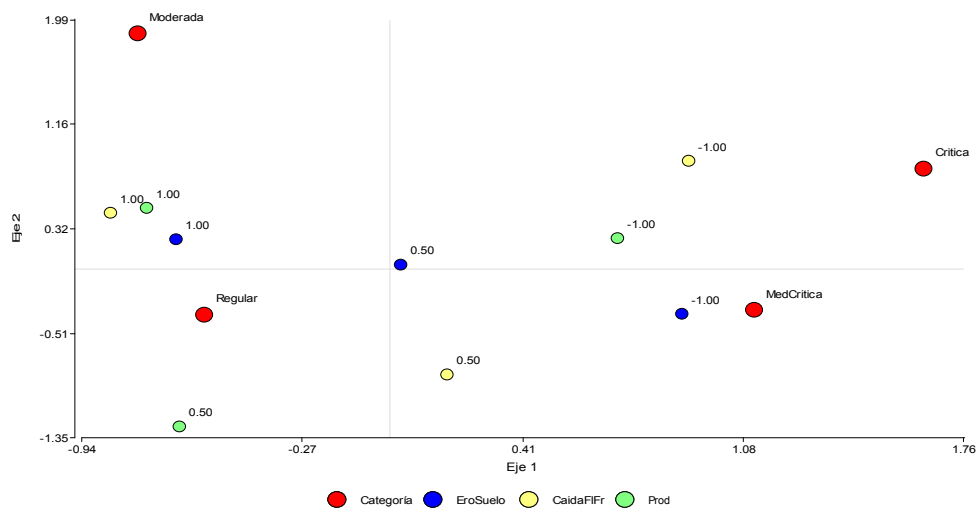


Figura 2. Análisis de correspondencia de variables de impacto con respecto a la variable categoría de unidades productivas de café de cooperativas del consorcio COOCAFE de Costa Rica. **Nota:** EroSuelo: presencia de erosión de suelos, CaidaFlFr: presencia de caída de flores y frutos, Prod: disminución de la producción

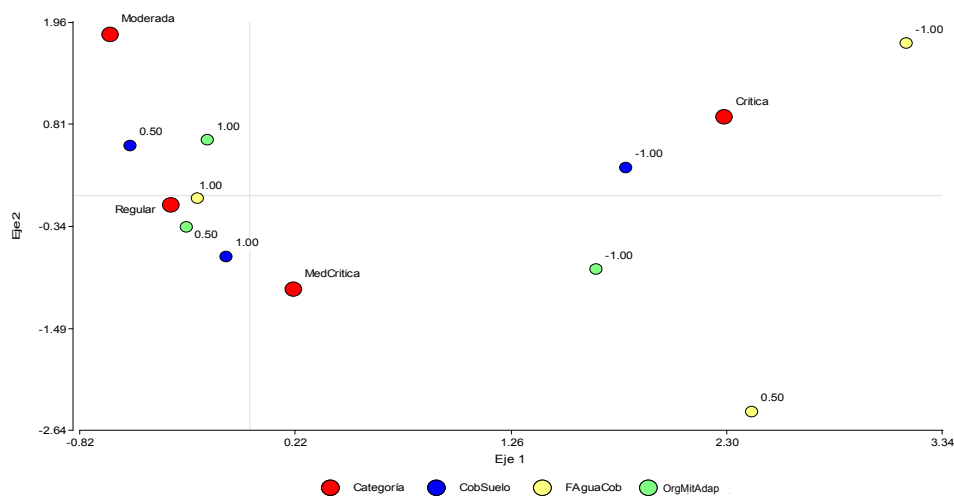


Figura 3. Análisis de correspondencia de variables de capacidad adaptativa con respecto a la variable categoría de unidades productivas de café de cooperativas del consorcio COOCAFE de Costa Rica. **Nota:** CobSuelo: suelos con cobertura, FAguaCob: fuentes de agua con cobertura OrgMitAdap: estar vinculado a procesos organizativos sobre mitigación

a procesos organizativos sobre mitigación y adaptación ante el cambio climático (OrgMitAdap $p=0.0336$). Canet *et al.* (2016) hacen mención sobre la importancia del aporte de materia orgánica proveniente de los árboles de servicio, pues contribuye al mantenimiento de la humedad y de la fertilidad del suelo. La chapia (corte con machete), es una práctica que ayuda a controlar la erosión del suelo en cafetales ubicados en pendientes, mientras que el uso de herbicidas incrementa la erosión del suelo y disminuye la productividad a largo plazo (Geissert *et al.* 2017). La cobertura boscosa y la edad del cafetal influyó en el volumen de escorrentía y pérdida de suelo por erosión (López 2017).

Otras variables utilizadas en este análisis fueron: producción de fanegas/ha, costos/ha, ingresos/ha, área de la finca, altitud, participación del proyecto “Caficultura ante el cambio climático”, cantidad de actividades de manejo, actividades productivas y actividades de consumo. De las variables mencionadas anteriormente, la cantidad de insumos (p valor = 0.03) y costos/ha mostraron una relación significativa (p valor = 0.06) con respecto a las categorías de vulnerabilidad y capacidad adaptativa de las fincas (Figura 4).

Se debe tomar en cuenta que, al aumentar la cantidad de insumos, los costos de producción por

hectárea aumentan. Viguera *et al.* (2017) hacen referencia a prácticas de eficiencia en el uso de fertilizantes y otros agroquímicos como: planificar la aplicación de fertilizantes con base en la predicción del tiempo, promover el uso de abonos orgánicos, y el establecimiento de cultivos de leguminosas para fijar nitrógeno. Por otro lado, Cerda *et al.* (2016) obtuvieron resultados interesantes con respecto a la intensidad de manejo en unidades productivas de café donde el incremento en la intensidad de manejo aumenta considerablemente los costos de producción en los sistemas productivos evaluados.

En este estudio se encontró que 23 (61%) de los productores utilizan podadora telescópica para el manejo de sombra; 36 (95%) cuentan en promedio con dos variedades resistentes, tres productores (8%) están en proceso de ejecutar sistemas de cosecha de agua; uno construyó una abonera para producción y almacenamiento, tres producen abonos orgánicos de manera regular; uno utiliza motoguadaña para el control de malezas y 14 siembran árboles regularmente (Figura 5). En promedio, los productores realizan dos prácticas y cuentan con una más en proceso de realización.

En general, las prácticas que mostraron relación con el nivel de vulnerabilidad fueron la siembra de árboles de servicio y maderables (barreras rompevientos) y la introducción de variedades de café mejoradas. Las categorías regular y moderada presentaron relación con la presencia de variedades mejoradas (p valor= 0.017) y con todas las

cooperativas a excepción de COPELLANOBONITO (p valor= 0.003); la siembra de árboles mostró relación con la categoría regular (p valor= 0.0236) y las cooperativas COPEMIRAMONTE, COPEELDOS y COPECERROAZUL (p valor= 0.0216) (Figura 6). Esto concuerda con los resultados de Schulz (2018), donde en general, las fincas con variedades mejoradas fueron ubicadas en niveles de vulnerabilidad y capacidad adaptativa regular.

Cabe recalcar que la presencia de variedades resistentes de adaptación resultó estar asociada con variables productivas y de sanidad como: presencia de mancha de hierro, frutos brocados con *Beauveria* sp., nudos productivos y minador de la hoja (Figura 7). Turbay *et al.* (2014) describen cómo los caficultores de Colombia están renovando sus cafetales con una variedad llamada Castillo, desarrollada por Cenicafé, la cual es de gran ayuda en zonas de alta precipitación. También se encontró relación entre la presencia de *Simplicillium* sp., la edad de la plantación y la cantidad de nudos productivos. Una de las variedades más recomendadas a este grupo de productores fue la Obata la cual, según ICAFE (2016), cuenta con excelente calidad de taza y es resistente a roya. ANACAFE (2016) afirma que el potencial genético contribuye a la productividad de una plantación puesto que, de acuerdo a la región y el clima de origen, se desarrollan diferentes tipos de cafeto, con características genéticas diferentes: porte, forma, tamaño y color del fruto, resistencia a enfermedades, tolerancia a plagas y calidad de taza, entre otras.

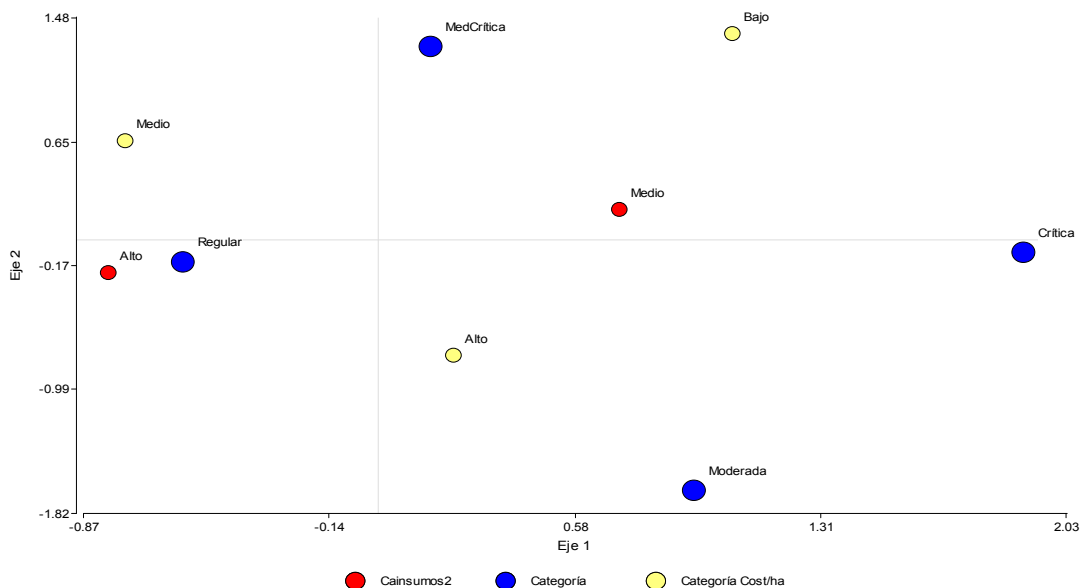


Figura 4. Análisis de correspondencia para las variables categoría de vulnerabilidad y capacidad adaptativa y cantidad de insumos utilizados y costos por hectárea de unidades productivas de café de cooperativas del consorcio COOCAFE de Costa Rica. **Nota:** Cainsumos: Cantidad de insumos, Cost/ha: costos de producción por ha, Categoría: Nivel de vulnerabilidad y capacidad adaptativa

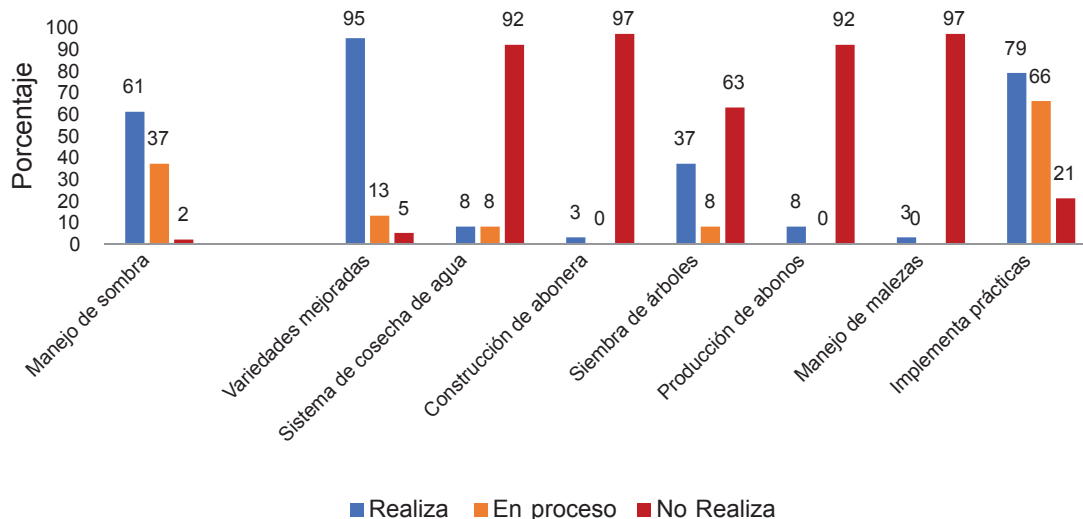


Figura 5. Productores que realizan prácticas de manejo que disminuyen la vulnerabilidad y aumentan la capacidad adaptativa ante el cambio climático de unidades productivas de café de cooperativas del consorcio COOCAFE de Costa Rica

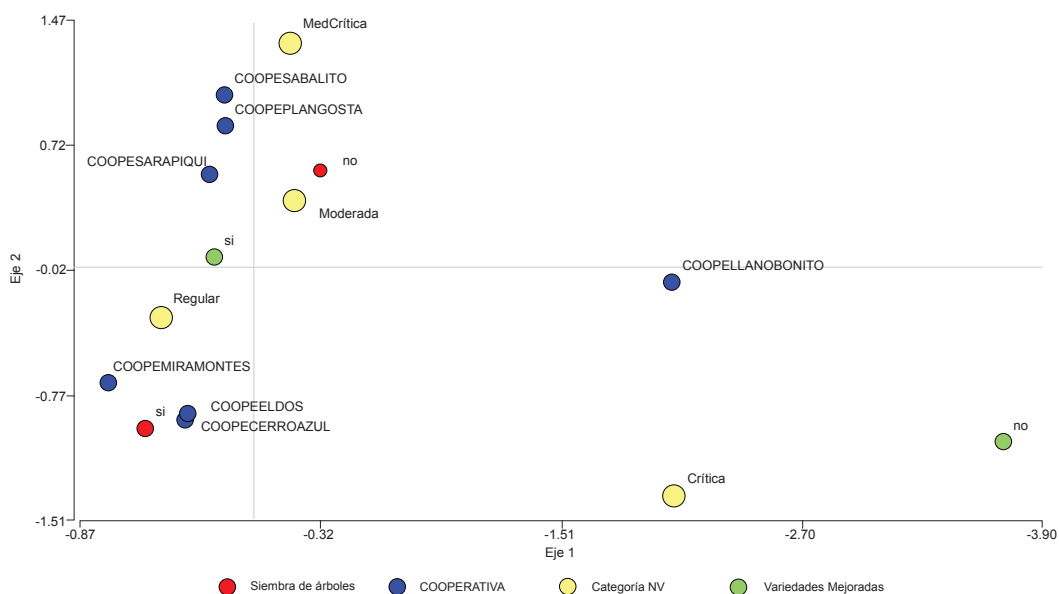


Figura 6. Análisis de correspondencia para las variables de nivel de vulnerabilidad, cooperativas y prácticas de introducción de variedades mejoradas y siembra de árboles de unidades productivas de café de cooperativas del consorcio COOCAFE de Costa Rica

Los productores participantes del proyecto (Figura 8), cuentan con prácticas implementadas e iniciando otras actividades adaptativas, mientras que los productores no participantes, en su mayoría, no cuentan con ninguna actividad en proceso. Además de las prácticas de carácter biofísico, también son necesarias prácticas de índole social como capacitación y extensionismo, organización social y solicitud de ayuda a instituciones (Viguera *et al.* 2017). Londoño (2017) hizo una recopilación de estrategias y medidas aplicables en el

sector cafetalero en Colombia ante los fenómenos y variabilidad climática.

Acerca de las principales limitaciones, un 29% de los productores contestaron que las prácticas recomendadas son difíciles de implementar debido a la falta de apoyo técnico, disposición de recursos económicos y conocimiento correcto de cómo realizarlas. Estas respuestas coincidieron con las limitaciones expresadas en la pregunta de evaluación, donde se vuelve a

mencionar que apoyo técnico, recursos económicos y, no menos importante, la disposición del productor y los bajos precios del café, son factores limitantes. Al consultar al entrevistado sobre posibles opciones para facilitar el proceso de adopción, mencionaron la necesidad de disponer de créditos agropecuarios con intereses más bajos, contar con financiamiento y/o materiales y en última instancia, más disponibilidad de capacitaciones y apoyo técnico. La mayoría de los productores mencionaron que están introduciendo al menos una nueva variedad y están realizando manejo de sombra intermedia tipo paraguas (Figura 9). El apoyo técnico y otras posibles fuentes de apoyo para realizar las prácticas, se pueden conocer a través de

la respuesta a la consulta sobre la “identificación y priorización de opciones de adaptación y mitigación”, donde se identificaron entidades que pueden contribuir al proceso de implementación, entre ellas, la familia, la cooperativa, ONG, Instituto del Café de Costa Rica (ICAFFE) y el Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG), entre otras (Villarreyra *et al.* 2017).

Las variables a explorar mencionadas fueron la fertilidad del suelo y la conservación de áreas boscosas. También la exploración con distintas especies de árboles para sombra dentro del cafetal, sistemas de riego, producción de café orgánico, nichos de mercado e

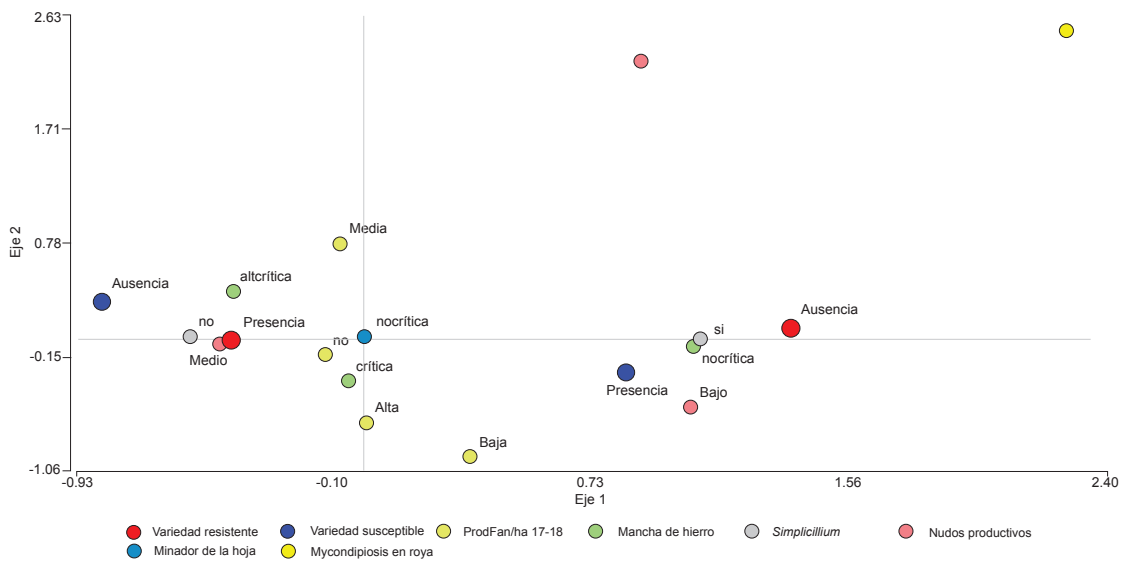


Figura 7. Análisis de correspondencia para las variables variedades resistentes, variedades susceptibles y variables relacionadas a estas de unidades productivas de café de cooperativas del consorcio COOCAFE de Costa Rica

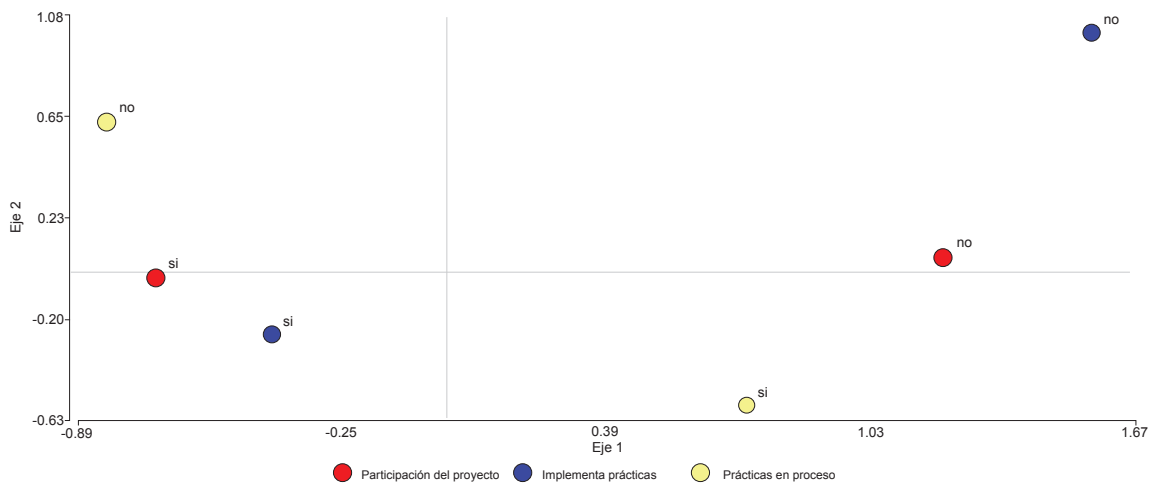


Figura 8. Análisis de correspondencia para las variables implementación de prácticas y prácticas en proceso de unidades productivas de café de cooperativas del consorcio COOCAFE de Costa Rica

involucramiento de entidades estatales en este tipo de proyecto. Estas prácticas coinciden con las recomendadas por Villarreyña *et al.* (2017). Las variables de fertilidad de suelo, conservación de áreas boscosas, árboles de servicio y sistemas de riego están contempladas dentro de la evaluación como medidas/prácticas que permiten hacer frente a limitaciones de vulnerabi-

lidad y adaptabilidad al cambio climático. Por ejemplo, se recomiendan prácticas como establecer un programa de fertilización según análisis químico del suelo, aplicar materia orgánica, introducción de leguminosas para sombra, recobrar la cobertura forestal en las nacientes de agua y utilizar diferentes arreglos de sistemas agroforestales, entre otras.



Parcela con variedad mejorada de café, con diversificación, árboles de servicio en paraguas intermedio y prácticas de conservación de suelo. Finca R. Jiménez – Coopesabalito, mayo 2018



Parcela con variedad mejorada combinando SAF musáceas con árboles de servicio y barreras rompevientos con maderables y ornamentales. Finca G. Portuguez -Coopesabalito, mayo 2018



Parcela de variedad mejorada de café con riego y barreras rompevientos de maderables, ornamentales y alimentos. Finca A. Granados - Coopeldos, marzo 2018



Parcela de híbridos F1 (Programa PROMECAFE-CATIE-CIRAD e institutos de café) con alta adaptabilidad y productividad. Finca N. Solórzano- Coopemiramontes, marzo 2018

Figura 9. Fincas integrantes de la red de validación de medidas de adaptación-mitigación de cooperativas de café, Costa Rica (COCAFE-FUNCAFOR-ICAFE-MAG-FUNDECOOPERACIÓN-FONDO DE ADAPTACIÓN)
Fotos: E de M Virginio Filho

CONCLUSIONES

Los factores de mayor influencia a nivel de vulnerabilidad y capacidad adaptativa fueron las variables de impacto: la presencia de erosión, incremento de caída de flores y frutos y disminución en la producción de café; para las variables de capacidad adaptativa: las unidades productivas con cobertura forestal, fuentes de agua y la vinculación a procesos organizativos sobre mitigación y adaptación frente al cambio climático.

En cuanto al resto de las variables estudiadas, el uso de mayor cantidad de insumos y costos de producción por hectárea altos, están asociados a la categoría de vulnerabilidad regular y moderada.

Al contrastar fincas que han implementado prácticas con fincas que no las implementaron, no se encontraron diferencias en cuanto a las características de las mismas. Sin embargo, se pudo observar que en general, los productores participantes del proyecto realizaron en promedio dos o más prácticas, mientras que los productores que no participaron cuentan con al menos una práctica en proceso. De igual manera se pudo evidenciar que los productores cuentan con variedades resistentes en sus fincas y realizan siembra de árboles, lo cual reflejó una mejor categoría.

Según la opinión de los productores, los principales factores que limitan la adopción de las prácticas fueron: no contar con el apoyo técnico y las herramientas para realizarlas, bajos precios del café, falta de disposición del productor y falta de recursos para invertir en las prácticas. Tomando en cuenta que si los costos para implementar estas prácticas son elevados, el productor probablemente no las llevará a cabo.

Al analizar el impacto a corto plazo de las prácticas de capacidad adaptativa, se pudo identificar que la mayoría de las fincas se encontraron en niveles de vulnerabilidad y capacidad adaptativa regular. Sin embargo, fue posible identificar actividades que ayudan a aumentar la capacidad adaptativa, entre ellas la introducción de variedades mejoradas y siembra de árboles. Estas actividades mostraron relación con mejores categorías de disminución de vulnerabilidad y aumento de capacidad adaptativa al igual que las variables de influencia mencionadas anteriormente.

RECOMENDACIONES

Para los productores es importante contar con información climatológica para mejorar las respuestas obtenidas

para las variables de exposición, con el fin de fundamentar aún más la información que se les brinda. De igual manera se puede explorar si estas variables de exposición presentan algún tipo de relación con las variables impacto y de capacidad adaptativa.

Considerar estas fincas como referencia para posibles ensayos de validación de prácticas de capacidad adaptativa y productividad de variedades mejoradas, como la Obata, entre otras, considerando estudios más detallados desde el punto de vista biofísico.

Dar seguimiento a mediano y largo plazo mediante una nueva aplicación de la herramienta para, de esta manera, evaluar si hay cambios significativos de las prácticas recomendadas sobre vulnerabilidad y capacidad adaptativa de las fincas.

Ampliar la cantidad de productores a la que fue aplicada la herramienta para contar con mayor variabilidad de información en caso de futuros trabajos.

Incorporar los aprendizajes en diferentes iniciativas institucionales para la promoción de la adaptación y mitigación del sector cafetalero frente al cambio climático.

Recomendar la divulgación de esta evaluación a través de instituciones del estado como el ICAFE o el MAG, ya que es fácil de implementar y ha sido utilizada en varios procesos de validación en Centroamérica.

Muchos de los productores indicaron tener limitaciones económicas para la implementación de prácticas. Se recomienda, por lo tanto, establecer sistemas agroforestales o silvopastoriles para incrementar la diversificación de los cultivos dentro de la finca, tomando en cuenta que la práctica más accesible es la siembra de árboles dentro del cafetal y que más del 50% de los productores realiza de tres a cuatro actividades productivas.

BIBLIOGRAFÍA

- ANACAFE (Asociación Nacional del Café, Guatemala). 2016. Guía de variedades de café. Ciudad de Guatemala, Guatemala. 48 p.
- Balzarini, MG; González, L; Tablada, M; Casanoves, F; Di Rienzo, JA; Robledo, CW. 2008. InfoStat. Manual del Usuario, Córdoba, Argentina Editorial Brujas.
- Camargo, M. 2010. The Impact of climatic variability and climate change on *Arabica Coffee* crops in Brazil. *Bragantia*, Campinas 69(1):239-247.
- Canet, G; Soto, C; Ocampo, P; Rivera, J; Navarro, A; Guatemala, G; Villanueva, S. 2016. La situación y tendencias de la producción de café en América Latina y el Caribe. San José, Costa Rica, IICA. 126 p.

- CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza). 2015. ANACAFE y Programa Regional de Cambio Climático de USAID presentan herramientas para reducir la vulnerabilidad al cambio climático del sector cafetalero (en línea, sitio web). Consultado 15 set. 2018. Disponible en <https://www.catie.ac.cr/catienoticias/2530-anacafe-y-prcc-de-usaid-presentan-herramientas-para-reducir-la-vulnerabilidad-al-cambio-climatico-del-sector-cafetalero.html>
- Cerda, R; Allinne, C; Gary, C; Tixier, P; Harvey, C; Krolczyk, L; Mathiot, C; Clément, E; Aubertot, J; Avelino, J. 2016. Effects of shade, altitude and management on multiple ecosystem services in coffee agroecosystems. *European Journal of Agronomy* 82 (Part B):308-319.
- Fernández, F. 2002. El análisis de contenido como ayuda metodológica para la investigación. *Ciencias Sociales* 96 (2):35-53.
- Geissert, D; Mólgora -Tapia, A; Negrete -Yankelevich, S; Hunter, R. 2017. Efecto del manejo de la cobertura vegetal sobre la erosión hídrica en cafetales de sombra. *Agrociencia* 51:119 -133.
- ICAFE (Instituto del Café de Costa Rica). 2014. Informe sobre la actividad cafetalera de Costa Rica. San José, Costa Rica. 101 p.
- ICAFE (Instituto del Café de Costa Rica). 2017. Informe sobre la actividad cafetalera de Costa Rica. Heredia, Costa Rica. 107 p.
- ICAFE (Instituto del Café de Costa Rica). 2016. Obata: alta productividad, resistencia a la roya del café y excelente calidad de bebida. *InnovaIcafe La revista del Café de Costa Rica* 7:2- 45.
- IICA (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura). 2017. Caficultura: panorama actual en América Latina San José, Costa Rica. 152 p.
- Jiménez, G; Detlefsen, G; Virginio Filho, E. 2017. Vulnerabilidad y capacidad adaptativa al cambio climático de pequeños productores de café en Honduras. *In XXIII Simposio Latinoamericano de Caficultura* (1, 2017, San Pedro Sula, Honduras). IHCAFE, CATIE.
- Londoño, J. 2017. Análisis de estrategias y medidas de adaptación a la variabilidad climática en cultivos de café en Colombia. Bogotá, Colombia, Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD). 49 p. (Monografía Ingeniería Forestal).
- López, J. 2017. Erosión hídrica en suelos de laderas cultivadas con café sin sombra, en Copán Honduras. *Revista Ciencia y Tecnología* 21:135- 151.
- Plazaola, K. 2018. Evaluación de prácticas para la reducción de vulnerabilidad y aumento de la capacidad adaptativa ante el cambio climático en fincas cafetaleras de Honduras. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 62 p.
- Schulz, C. 2018. Análisis sobre vulnerabilidad y capacidad adaptativa al cambio climático de fincas cafetaleras de Guatemala. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica. CATIE. 100 p.
- Turbay, S; Nates, B; Jaramillo F; Vélez, J; Ocampo, O. 2014. Adaptación a la variabilidad climática entre los caficultores de las cuencas de los ríos Porce y Chinchiná, Colombia. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía* 2014(85):95-112.
- Viguera, B; Martínez-Rodríguez, M; Donatti, C; Harvey, C; Alpízar, F. 2017. Impactos del cambio climático en la agricultura de Centroamérica, estrategias de mitigación y adaptación. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 47 p. (Materiales de fortalecimiento de capacidades técnicas del proyecto CASCADA).
- Villarreyna, R; Virginio Filho, E de M; Jones, C; Florian, E; Soto, G; Astorga, C. 2017. Acciones para fortalecer la adaptación y mitigación del cambio climático en el sector cafetalero de Costa Rica. Manual técnico para reducir la vulnerabilidad de fincas cafetaleras frente al cambio climático. Turrialba, Costa Rica. PRCC, PROCAGICA, USAID, UE, CATIE, IICA. 101 p.
- Virginio Filho, E. 2018. Impulsando la adaptación en fincas cafetaleras de cooperativas del consorcio COOCAFE. Costa Rica, COOCAFE-FUNDECOOPERACIÓN/FUNDO DE ADAPTACIÓN. 34 p. (Informe final de consultoría).
- Virginio Filho, E; Barrios, M; Toruño, I; CATIE (Centro Agronómico de Investigación y Enseñanza). 2009. ¿Cómo podemos mejorar la finca cafetalera en la cuenca? Una guía de apoyo a procesos de reflexión participativos con familias productoras y promotores técnicos. Managua, Nicaragua, CATIE. 72 p.

Avances de Investigación

Vulnerabilidad y capacidad adaptativa de fincas cafetaleras de Turrialba, Costa Rica*

Fay I. Garnett Simmons¹, Elias de Melo Virginio Filho², Guillermo Detlefsen³, Rolando Cerda³

RESUMEN

El Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), el Programa Regional de Cambio Climático (PRCC) y el Programa Centroamericano para el Manejo Integral de la Roya del Café (*Hemilia vastatrix*) (PROCAGICA), validaron y promovieron una herramienta de evaluación rápida y un manual de referencia para evaluar la vulnerabilidad y la capacidad adaptativa de los cafetales (*Coffea arabica*) afectadas por el cambio climático. Entre octubre de 2018 y mayo de 2019, se estudiaron 26 fincas cafetaleras pertenecientes a miembros de la asociación de café Apoya-Naturalba, ubicadas en Turrialba, Costa Rica. El objetivo del estudio fue determinar el nivel de vulnerabilidad y la capacidad adaptativa de los cafetales utilizando la herramienta propuesta por Virginio Filho *et al.* (2015) y enfoques participativos con los agricultores. Microsoft Excel y el software estadístico INFOSTAT® se utilizaron para generar tablas de frecuencia, tablas de contingencia y análisis de correspondencia para analizar y presentar los resultados. Estos mostraron que la participación de jóvenes en las actividades cafetaleras fue muy baja o ausente. Los productores sembraron ocho o más variedades tradicionales y/o mejoradas, cultivos diversos y algunos hicieron la transición a la cría de animales pequeños. Los cafetales se clasificaron en cuatro categorías: vulnerabilidad y capacidad de adaptación crítica; vulnerabilidad y capacidad de adaptación moderadamente crítica; vulnerabilidad y capacidad de adaptación regular; y, por último, vulnerabilidad y capacidad de adaptación moderada. La evaluación conducida en el 2018 demostró que al menos ocho fincas se encontraban en la misma categoría (con respecto a los resultados del 2016), o aumentaron su vulnerabilidad y capacidad adaptativa. Las limitaciones más importantes para la producción de café fueron el aumento de la temperatura (100%) y la precipitación irregular (100%). Al comparar el uso de las prácticas de producción, los productores convencionales (n=15), solo diferían de los orgánicos (n=4) y los agro-sostenibles (n=7), en el uso de herbicidas y fertilizantes sintéticos en el manejo del café. Indudablemente, los miembros de la asociación Apoya-Naturalba son muy vulnerables a los efectos de la variabilidad y el cambio climático.

Palabras clave: Café (*Coffea arabica*), cambio climático, vulnerabilidad, capacidad de adaptación, impacto.

ABSTRACT

The Tropical Agricultural Research and Higher Education Center (CATIE), the Regional Climate Change Program (RCCP) and the Central American Program for the Integrated Management of Coffee Rust (*Hemilia vastatrix*) (PROCAGICA), developed a rapid evaluation tool and reference manual to evaluate the vulnerability and adaptive capacity of coffee plantations (*Coffea arabica*) affected by climate change. Between October 2018 and May 2019, 26 coffee farms belonging to members of the Apoya Naturalba coffee association located in Turrialba, Costa Rica were studied. The objective of the study was to determine the level of vulnerability and adaptive capacity of coffee plantations using a rapid evaluation tool and participatory approaches with farmers. Microsoft Excel and INFOSTAT® statistical software were used to generate frequency tables, contingency tables and correspondence analysis to analyze and present the results. These showed that the participation of young people in coffee activities were very low or absent. Producers planted eight or more traditional and/or improved varieties, diverse crops and some transitioned to small animal husbandry. Coffee plantations were classified in four categories: critical vulnerability and adaptive capacity; moderately critical vulnerability and adaptive capacity; regular vulnerability and adaptive capacity; and, lastly, moderate vulnerability and adaptive capacity. The evaluation conducted in 2018 showed that at least eight farms were in the same category (with respect to the results of 2016), or increased their vulnerability and adaptive capacity. The most important limitations for coffee production were the increase in temperature (100%) and irregular precipitation (100%). When comparing the use of production practices, conventional producers (n = 15), only differed from organic (n = 4) and agro-sustainable (n = 7), in the use of herbicides and synthetic fertilizers in the coffee handling. Undoubtedly, the members of the Apoya-Naturalba association are very vulnerable to the effects of climate variability and change.

Key Words: Coffee (*Coffea arabica*), climate change, vulnerability, adaptive capacity, impact.

* Trabajo presentado en el XXIV Simposio Latinoamericano de caficultura, Guatemala 2019, PROMECAFE, ANACAFE

1 CATIE- Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, Costa Rica; fay.garnett@catie.ac.cr

2 CATIE-PROCAGICA-IICA-UE, Costa Rica

3 CATIE- Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, Costa Rica

INTRODUCCIÓN

En 2015, el Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE) y el Programa Regional de Cambio Climático (PRCC), a través de sus programas de investigación participativa desarrollaron una herramienta de evaluación rápida para ayudar a los técnicos y productores de la región a medir la vulnerabilidad y capacidad adaptativa de las plantaciones de café (*Coffea arabica*) al cambio climático (Virginio Filho *et al.* 2015). Para apoyar la iniciativa, el Programa Centroamericano para el Manejo Integral de la Roca del Café (PROCAGICA), junto con el PRCC elaboraron un manual de referencia para guiar el proceso metodológico en Costa Rica donde el café tiene mucha importancia económica y es cultivado principalmente por pequeños productores quienes representan el 97% del total a nivel nacional (Villarreyña *et al.* 2017, ICAFE 2018).

Es evidente que el café está enfrentando problemas por la variabilidad climática, específicamente por el incremento en las temperaturas, lluvias intensas, persistentes y/o prolongadas y la presencia de vientos fuertes y sequías extensas que afecta los periodos de cosecha. Esta situación genera plantas débiles y un aumento en la caída de frutas y flores, mayores problemas con plagas y enfermedades, daños a los árboles e incluso un aumento en la mortalidad (Coffee and Climate 2015). Según ECLAC (2015), se espera en el país un incremento de la vulnerabilidad al cambio climático al año 2030. Por lo tanto, es necesario evaluar los resultados que contribuirán a la construcción de una mayor resiliencia al cambio climático para los productores.

Durante las últimas dos décadas, la zona de Turrialba ha experimentado un descenso constante en la producción de café debido al cambio climático. Por este motivo, entre octubre del 2018 y mayo del 2019, se realizó este estudio para determinar si los pequeños productores de la asociación Apoya-Naturalba se han vuelto más vulnerables al cambio climático y conocer sus capacidades para poder adaptarse a las nuevas condiciones. Además, se consideró la diversificación de la finca, junto con recomendaciones destinadas a estimular el interés de aumentar la producción de café a través de enfoques sostenibles con apoyo técnico estratégico.

La presente investigación busca determinar la vulnerabilidad al cambio climático y la capacidad adaptativa de los pequeños productores de café del cantón de Turrialba, Costa Rica.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se utilizaron métodos de investigación exploratorios y descriptivos para recopilar y estudiar la información obtenida de 26 pequeños productores de café de la asociación Apoya-Naturalba, ubicados en la zona productora de café de Turrialba, Costa Rica. Se utilizó un enfoque participativo desarrollado por Gielfus (2008), para involucrar a los productores en temas relacionados con el manejo del café y recopilar sus percepciones sobre los impactos del cambio climático en la producción.

Para describir a los cafetaleros y las fincas, se realizaron entrevistas semiestructuradas. Se aplicaron 25 preguntas orientadoras de la herramienta de evaluación rápida desarrollada por Virginio Filho *et al.* (2015). Las fincas se clasificaron en categorías de acuerdo a la guía (cuadros 1 y 2) (Virginio Filho *et al.* 2015, Villarreyña *et al.* 2017). En el 2016 se aplicó la herramienta desarrollada para un grupo de 13 fincas (Escárraga *et al.* 2016). Los datos obtenidos en esta evaluación se revisaron y los resultados fueron comparados con los del 2018 para un total de 8 fincas comunes entre ambas evaluaciones agrupadas por tipos de manejo (orgánico, agrosostenible y convencional).

Cuadro 1. Representación numérica y definición de respuestas a la herramienta de evaluación rápida

Respuesta	Representación	Indicación
Sí	-1	Existe un problema en la finca
Más o menos	0.5	Existe un ligero problema en la finca
No	1	No existe un problema en la finca

Fuente: Villarreyña *et al.* (2017)

Las principales limitaciones de las prácticas y sistemas de producción (2018) considerando los 26 cafetales evaluados, se clasificaron en tres categorías (exposición, impacto y capacidad de adaptación). Posteriormente, las limitaciones se presentaron de forma independiente según el tipo de manejo (orgánico, agrosostenible y convencional). Se generaron tablas de frecuencia en INFOSTAT para obtener la respuesta promedio para cada categoría (-1, 0.5 y 1) por sistema. Luego, los datos se transfirieron a una base de datos en Microsoft Excel, donde se resaltó y explicó cada variable con un valor de -1 con más de un 50% de respuestas.

Cuadro 2. Categorías de vulnerabilidad y capacidad adaptativa a los cafetales

Categoría de referencia	Puntos obtenidos en la valoración
1. Vulnerabilidad prácticamente ausente, excelente capacidad de adaptación	de 20 a 25
2. Baja vulnerabilidad, alta capacidad de adaptación	de 15 a 19
3. Vulnerabilidad y capacidad de adaptación moderada	de 8 a 14
4. Vulnerabilidad y capacidad de adaptación regular	de 1 a 7
5. Vulnerabilidad y capacidad de adaptación moderadamente crítica	de -6 a 0
6. Vulnerabilidad y capacidad de adaptación crítica	de -13 a -7
7. Vulnerabilidad y capacidad de adaptación muy crítica	de -20 a -14
8. Totalmente vulnerable y sin ninguna capacidad de adaptación	de -25 a -21

Fuente: Villarreyña *et al.* (2017) y Virginio Filho (2015)

Posteriormente, se estableció un grupo focal y se realizó un taller participativo para retroalimentar, identificar y priorizar las 10 limitaciones más comunes que afectaron la producción de café, así como identificar qué entidad podría ayudar a abordarlas (Figura 1). Finalmente, se utilizaron pruebas estadísticas con el *software* INFOSTAT para explorar e identificar relaciones y asociaciones entre las variables del estudio. Con base en los resultados del proceso, se desarrollaron recomendaciones para posibles enfoques organiza-

tivos que podrían contribuir a un mayor acceso a información y apoyo técnico y al fortalecimiento y sostenibilidad de la asociación y sus afiliados mediante prácticas de manejo que aumenten la capacidad adaptativa y de mitigación de los productores.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Descripción de los productores de café y las fincas

El 65% de los miembros de la asociación Apoya-Naturalba participó en el estudio. La edad promedio de los productores fue de 58 años; el área promedio de los cafetales fue de 2,3 ha. Se encontraron 48 especies de cultivos y siete de animales, en promedio, en las unidades productivas asociadas con café y otros rubros. Se encontraron tres sistemas de producción predominantes (agrosostenible, convencional y orgánico). La producción promedio fue de 8,26 fanegas/ha, valor muy bajo comparado al promedio de la zona de 18 fanegas/ha.

Comparación de resultados de vulnerabilidad y capacidad adaptativa (2016 vs. 2018)

De acuerdo al seguimiento dado a los resultados de la primera aplicación piloto de la herramienta de evaluación rápida (2016) se encontró que, en 2018, el 100% (ocho) de las fincas en estudio, independientemente del sistema de manejo, no han mostrado cambios positivos respecto al aumento de prácticas para enfrentar los impactos del cambio climático. La evaluación de 2018 mostró que todas las fincas se encontraban en la misma categoría, o aumentaron su vulnerabilidad (Cuadro 3).

Cuadro 3. Resultados sobre la evaluación (2016-2018) de vulnerabilidad y de capacidad adaptativa ante el cambio climático de pequeñas fincas (8) productoras de café de Apoya-Naturalba, Turrialba, Costa Rica, según sistema de producción

ID	Sistema	Vul2016	Vul2018	Cat2016	Cat2018	Vulnerabilidad
		Puntos	Puntos	Categoría	Categoría	
CF	Convencional	9,5	-4,5	3	5	Aumentó
FR	Convencional	4,5	-3,5	4	5	Aumentó
VR	Agrosostenible	7,5	6,5	4	4	Misma
HA	Agrosostenible	-13	-7,5	6	6	Misma
VM	Orgánico	8,5	3	3	4	Aumentó
LO	Orgánico	21	-2,5	1	5	Aumentó
AS	Orgánico	-1	-9,5	5	6	Aumentó
JS	Orgánico	-1	-7	5	6	Aumentó



Figura 1. Taller y grupo focal con participantes de las organizaciones Apoya y Naturalba para el análisis de limitantes y alternativas de manejo sostenibles para la producción de café ante el cambio climático, Turrialba, Costa Rica, abril 2018. Fotos: F. Garnett.

Vulnerabilidad y capacidad adaptativa de las fincas evaluadas en 2018 y principales limitaciones por sistema de producción

La aplicación de la herramienta a nivel individual y de forma colectiva por variable (exposición, impactos y capacidad de adaptación), permitió determinar el nivel y categoría de vulnerabilidad y capacidad adaptativa de las fincas (26). Los resultados presentados en el Cuadro 4 consideran las categorías de vulnerabilidad y adaptación que se describen en la metodología de investigación. Según los resultados ocho fincas son vulnerables y tienen una capacidad adaptativa moderadamente crítica y siete fincas en categoría crítica. Del total de 15 fincas en vulnerabilidad y capacidad de adaptación moderadamente

crítica y crítica, 8 trabajan bajo producción de café convencional, 4 en sistema agrosostenible y 3 en sistema orgánico. Este resultado indica que, a pesar de que los productores cafetaleros implementan la mayoría de las prácticas (10 u 11), esto necesariamente no se tradujo en una reducción de la vulnerabilidad de los cafetales. Se considera que la herramienta no solo clasifica las fincas en función del número y tipo de prácticas, sino que asigna un valor numérico a la percepción y las opiniones del productor a fin de proporcionar una noción más clara de cómo se espera que la finca responda a los impactos del cambio climático. El Cuadro 5 indica precisamente cuáles fueron las limitaciones enfrentadas por los productores en cada sistema.

Cuadro 4. Distribución de la vulnerabilidad y la capacidad adaptativa de fincas productoras de café por sistema evaluado de Apoya-Naturalba, Turrialba, Costa Rica (2018)

Sistema de producción	Categoría de vulnerabilidad y capacidad de adaptación				Total
	3	4	5	6	
Convencional	3	4	3	5	15
Agrosostenible	1	2	3	1	7
Orgánico	0	1	2	1	4
Total	4	7	8	7	26

Categorías: 3.= Vulnerabilidad y capacidad de adaptación moderada; 4.= Vulnerabilidad y capacidad de adaptación regular; 5.= Vulnerabilidad y capacidad de adaptación moderadamente crítica; 6.= Vulnerabilidad y capacidad de adaptación crítica.

Cuadro 5. Principales limitaciones (% de fincas con puntaje -1) por sistema productivo (convencional, orgánico y agrosostenible) de fincas (26) productoras de café de Apoya-Naturalba, Turrialba, Cosa Rica (2018)

Variable	Sistema productivo	Limitación	Respuesta (-1) >50%
Exposición	Orgánico	Aumento de la temperatura	100
		Patrón de lluvia irregular	100
		Vientos fuertes	75
		Aumento de la precipitación	75
	Agrosostenible	Aumento de la temperatura	100
		Patrón de lluvia irregular	100
		Vientos fuertes	57
		Sequías y escasez de agua	57
	Convencional	Aumento de la temperatura	100
		Patrón de lluvia irregular	100
Impactos (sensibilidad + exposición)	Orgánico	Floración irregular	75
		Aumento de plagas y enfermedades	75
		Producción disminuida	50
	Agrosostenible	Floración irregular	86
		Aumento de plagas y enfermedades	57
		Producción disminuida	71
	Convencional	Pérdida de fertilidad del suelo	53
Capacidad adaptativa	Orgánico	Falta de cobertura del suelo	100
		Falta de variedades resistentes a la sequía y enfermedades	100
		Falta de presencia arbórea	75
		Uso de enmiendas orgánicas	75
	Agrosostenible	Falta de cobertura del suelo	71
		No hay manejo de sombra	71
		Falta de variedades resistentes a la sequía y enfermedades	57
		Uso de enmiendas orgánicas	71
		Falta de cobertura en las fuentes de agua	86
		Falta de presencia arbórea	86
	Convencional	Falta de conservación del suelo	67
		Falta de cobertura del suelo	71
		No hay manejo de sombra	67
		Presencia de cafetos viejos	53
		Falta de variedades resistentes a la sequía y enfermedades	67
		Uso de fertilizantes sintéticos	53
		Uso de enmiendas orgánicas	53
Falta de cobertura en las fuentes de agua	67		
Falta de presencia arbórea	30		

Cuadro 6. Descripción de las prácticas implementadas por productores de café de Apoya-Naturalba, Turrialba, Costa Rica en tres tipos de sistemas de producción evaluados en 2018

Sistema de producción	No. de productores	No. prácticas implementadas en los cafetales	Tipos de prácticas implementadas
Convencional	15	10 u 11 (alto)	Diversificación de fincas, manejo de sombra, manejo de suelos, uso de fertilizantes sintéticos, uso de fertilizantes orgánicos, renovación de cultivos, uso de variedades mejoradas, eliminación de retoños, poda, desmalezado manual, uso de herbicidas
Orgánico	4	7 – 9 (intermedio)	Diversificación de fincas, manejo de sombra, manejo de suelos, uso de fertilizantes orgánicos, renovación de cultivos, uso de variedades mejoradas, eliminación de retoños, poda, desmalezado manual
Agrosostenible	7	5 – 6 (bajo)	Diversificación de fincas, manejo de sombra, manejo de suelos, uso de fertilizantes sintéticos, uso de fertilizantes orgánicos, renovación de cultivos, uso de variedades mejoradas, eliminación de retoños, poda, desmalezado manual, uso de herbicidas

Identificación de prácticas adoptadas por pequeños productores de la asociación Apoya-Naturalba

El Cuadro 6 muestra que el número de prácticas mencionadas e implementadas por los pequeños productores dentro de los cafetales se relacionan con 10 u 11 prácticas convencionales, 7 - 9 prácticas orgánicas y 5 o 6 prácticas agrosostenibles. Al comparar el uso de las prácticas mencionadas, los productores convencionales que eran la mayoría (15), solo diferían de los orgánicos (4) y los agrosostenibles (7), en el uso de herbicidas y fertilizantes sintéticos en el manejo del café. Todas las demás prácticas se implementaron de manera similar en los tres sistemas.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Más del 50% de los pequeños productores tienen más de una finca. Esta situación puede verse como una oportunidad para que continúen complementando la producción con productos alternativos para aumentar la seguridad alimentaria, la nutrición y la generación de ingresos. La edad promedio de los productores fue de 58 años, por lo tanto, se debe hacer un esfuerzo consciente para incorporar a los jóvenes en la cadena productiva para explorar nuevas innovaciones y enfoques que aumenten la resistencia al cambio climático y la productividad. Al comparar los resultados de la herramienta para el análisis de vulnerabilidad y la capacidad adaptativa de los cafetales 2016 versus 2018, ocho fincas productoras presentaron dos escenarios: o la vulnerabilidad y la capacidad de adaptación de los cafetales se mantuvieron en la misma categoría que en 2016 (2 fin-

cas), o los productores se volvieron más vulnerables en 2018 (6 fincas). Los productores indicaron que carecían de crédito disponible para invertir más en los cafetales durante los últimos dos años.

Por otro lado, los resultados para el grupo de 26 fincas evaluadas en 2018 evidencia que la mayor cantidad de fincas (57,7%) estaba en categorías de vulnerabilidad moderadamente crítica y crítica y un 42,3% en las categorías de vulnerabilidad y capacidad de adaptación moderada y regular. En este sentido, tanto las familias productoras en general, sus organizaciones Apoya y Naturalba y el conjunto de instituciones vinculadas a la producción local deben plantear una revisión crítica de los impactos vividos y de las alternativas más eficientes tendientes a reducir la vulnerabilidad y aumentar la capacidad de adaptación antes el cambio climático.

El aumento de la temperatura y los patrones irregulares de lluvia fueron las dos limitaciones más comunes en todos los sistemas de producción para ambos períodos. Teniendo en cuenta las condiciones climáticas naturales (muy cambiante) de Turrialba, la producción de café se vio afectada directa e indirectamente por la variabilidad climática. Las prácticas de manejo implementadas fueron generalmente de baja tecnología y consistentes con las prácticas tradicionales de manejo del café. Se implementaron al menos 11 prácticas en conjunto, pero no fueron suficientes para garantizar una producción mejor. Además, es necesario hacer una planificación adecuada para asegurar que los esfuerzos de diversificación no

tengan un efecto negativo en la producción de café. Indudablemente, los miembros de Apoya-Naturalba son vulnerables a los efectos de la variabilidad y al cambio climático. Si bien la herramienta mide solo las limitaciones agronómicas y ambientales que enfrentan los productores, es necesario incorporar una evaluación de los impactos socioeconómicos causados por el cambio climático. Esto complementaría la herramienta y facilitaría el proceso de toma de decisiones de los productores. No es suficiente clasificar los cafetales y sugerir posibles acciones, los productores necesitan tener acceso a información relacionada con los costos asociados a la implementación de cada práctica de adaptación y cómo los beneficiaría durante el desarrollo del cultivo.

BIBLIOGRAFÍA

- Coffee and Climate. 2015. Climate Change Adaptation in Coffee Production A step-by-step guide to supporting coffee farmers in adapting to climate change (en línea). Consultado 13 abr. 2019. <https://www.cabi.org/Uploads/CABI/projects/Coffee%20and%20climate%20change.pdf> Available online: Climate Change Adaptation in Coffee Production A step-by-step guide to supporting coffee farmers in adapting to climate change.
- ECLAC (Commission for Latin America and the Caribbean). 2015. Climate change in Central America. Potential Impacts and Public Policy Options (en línea). Mexico. 173 p. Consultado 25 Jun. 2018. Disponible en https://www.cepal.org/sites/default/files/publication/files/39150/S1800827_en.pdf
- Escárraga, L; Naranjo, R; Xiu, P; Velez, C; Chacón, P. 2016. Informe sobre resultados de vulnerabilidad y capacidad adaptativa del sector cafetalero frente el cambio climático, Turrialba. Familias productoras de APOYA. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 18 p.
- Gielfus, F. 80 Tools for Participatory Development. 2008. San José, Costa Rica, IICA. 208 p.
- ICAFE (Instituto del Café de Costa Rica). 2017. Informe sobre la actividad cafetalera de Costa Rica (en línea). Heredia, Costa Rica. 107 p. Consultado 15 Ago. 2018. Disponible en http://www.icafe.cr/wpcontent/uploads/informacion_mercado/informes_actividad/actual/InformeActividadCafetalera.pdf.pdf
- Villarreyna, R; De Melo, E; Florián, E; Soto, G; Astorga, C. 2017. Acciones para fortalecer la adaptación y mitigación del cambio climático en el sector cafetalero de Costa Rica. Manual técnico para reducir la vulnerabilidad de fincas cafetaleras frente al cambio climático. Turrialba, Costa Rica. PRCC, PROCAGICA, USAID, UE, CATIE, IICA. 98 p.
- Virginio Filho, E. de M; Florián, E; Astorga, C. 2015. Fortaleciendo procesos para la adaptación y mitigación del cambio climático con familias productoras de café en Honduras. s. l., USAID-PRCC-Proparque. 106 p.

Avances de Investigación

Evaluación de prácticas para la reducción de la vulnerabilidad y el aumento de la capacidad adaptativa ante el cambio climático en fincas cafetaleras de Honduras*

Katia Plazaola Safrián¹, Elias de Melo Virginio Filho²,
Alejandro Imbach³, Guillermo Detlefsen³, Gabriela Jiménez⁴

RESUMEN

El cambio climático representa hoy el principal reto que enfrenta la agricultura, especialmente la caficultura, ya que son miles de familias las que sobreviven gracias a esta actividad en Honduras. El objetivo principal de la investigación fue aplicar la metodología de evaluación de vulnerabilidad y capacidad adaptativa ante el cambio climático, desarrollada por Virginio Filho *et al.* (2015), además de identificar las principales limitantes que impiden que los productores implementen prácticas de adaptación ante el cambio climático. El estudio se realizó por segunda vez entre noviembre del 2018 y enero del 2019, con apoyo del Instituto Hondureño del Café (IHCAFE), en fincas cafetaleras de los departamentos de La Paz y Santa Bárbara, Honduras. Los resultados se compararon con la primera evaluación realizada en el 2016. El procesamiento de los datos recolectados se realizó a través del *software* InfoStat®, con el cual se elaboraron tablas de contingencia y análisis de correspondencias para determinar si hubo cambios significativos en cada una de las variables propias de la evaluación y si las fincas de los caficultores han experimentado cambios en cuanto a su vulnerabilidad, después de tres años de evaluación. Así mismo, se realizaron entrevistas a los caficultores para conocer sus principales limitaciones para brindar un manejo completo y adecuado al cultivo. Según los resultados, ha habido cambios significativos en 15 de las 25 variables evaluadas y que 89,4% de los productores se encuentran en categorías de vulnerabilidad y capacidad adaptativa moderada y regular, lo cual señala que han experimentado cambios importantes entre el periodo 2016 y 2018. Por otra parte, se determinó que las principales limitantes que enfrentan los productores están vinculadas a los bajos precios del café. La baja solvencia económica impide que los cafetales reciban un manejo adecuado.

Palabras clave: Clima adverso, plantaciones resilientes, capacitación, mitigación

ABSTRACT

Climate change today represents the main challenge that agriculture is facing, especially coffee growing, since thousands of families survive thanks to this activity in Honduras. The main objective of the research was to apply the methodology for assessing vulnerability and adaptive capacity to climate change, developed by Virginio Filho *et al.* (2015), in addition to identifying the main limitations that prevent producers from implementing adaptation practices to climate change. The study was carried out for the second time between November 2018 and January 2019, with the support of the Honduran Coffee Institute (IHCAFE), in coffee farms in the departments of La Paz and Santa Bárbara, Honduras. The results were compared with the first evaluation carried out in 2016. The processing of the collected data was carried out through the InfoStat® software, with which contingency tables and correspondence analysis were elaborated to determine if there were significant changes in each of the variables of the evaluation and if the farms of the coffee growers they have undergone changes in terms of their vulnerability, after three years of evaluation. Likewise, interviews were conducted with coffee growers to find out their main limitations to provide a complete and adequate management of the crop. According to the results, there have been significant changes in 15 of the 25 variables evaluated and that 89,4% of the producers are in categories of vulnerability and moderate and regular adaptive capacity, which indicates that they have experienced important changes between the period 2016 and 2018. On the other hand, it was determined that the main limitations faced by producers are linked to low coffee prices. Low economic solvency impede coffee plantations from receiving adequate management.

Keywords: Adverse climate, resilient plantations, training, mitigation

* Trabajo elaborado en base a documento presentado el XXIV Simposio Latinoamericano de Caficultura, Guatemala, PROMECAFE, ANACAFE, 2019

1 CATIE-Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, Costa Rica; Katia.Plazaola@catie.ac.cr

2 CATIE-PROCAGICA-IICA-UE, Costa Rica

3 CATIE-Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, Costa Rica

4 IHCAFE-Instituto Hondureño del Café, Honduras

INTRODUCCIÓN

En Honduras la caficultura es una de las actividades más importantes para la generación de divisas, con un aporte del 8 al 10% del PIB nacional. Esta actividad se desarrolla en gran parte del territorio nacional, principalmente en las zonas rurales. En el 2011, más de 100 000 familias conformaban el 90% de los pequeños productores beneficiados y que a su vez contribuyen a producir empleos directos e indirectos (CONACAFE e IHCAFE 2011). Entre el 2010 y 2011, Honduras comenzó a perfilarse como el principal productor de café de la región, ubicándose en el tercer puesto de producción a nivel americano y el sexto productor a nivel mundial, con un área total cultivada de 285 714 ha de las cuales el 70%, aproximadamente, corresponden a las variedades Lempira, IHCAFE-90 y Parainema. En los últimos años, Honduras ha logrado posicionarse en el quinto puesto a nivel mundial como país productor y exportador de café, el tercero de carácter latinoamericano y el primero en Centroamérica (IHCAFE 2017).

Según PROMECAFE (2017), actualmente en Centroamérica “El incremento en la incidencia de la roya en 2011/2012 coincidió con una baja en los precios internacionales para el café, lo cual disminuyó los incentivos y capacidad de los pequeños productores para dar un manejo adecuado a las fincas, incluyendo la aplicación de una adecuada fertilización o aplicación de productos para proteger sus plantaciones y/o inversión en nuevas variedades resistentes a esta plaga”. Honduras es el país de la región centroamericana que cuenta con el área mayor sembrada con variedades resistentes a la roya. Sin embargo, en abril del 2017 la variedad más resistente (Lempira), establecida en el 65% del área total sembrada en todo el país, comenzó a sufrir daños por la roya, por lo cual, la cosecha de ese año se vio muy afectada y, consecuentemente, los productores sufrieron considerables pérdidas económicas.

Sumado a lo anterior, surgieron otras enfermedades y plagas producto de la variabilidad climática que ha sido más recurrente en la última década. Por tal razón varias instituciones han unido esfuerzos y crearon una herramienta que permite a los técnicos y productores adquirir conocimientos y destrezas para la implementación de medidas para mitigar y reducir el impacto del cambio climático. El desarrollo del manual “Fortaleciendo procesos para la adaptación y mitigación del cambio climático con familias productoras de café en Honduras” fue elaborado

con los aportes recibidos del personal técnico del Instituto Hondureño del Café (IHCAFE), el Servicio Meteorológico Nacional de Honduras (SMNH), el Proyecto USAID ProParque, el Programa Regional de Cambio Climático (PRCC) y personal técnico del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), quienes participaron activamente en el proceso.

De acuerdo con Jiménez *et al.* (2017), en el 2015 el IHCAFE comenzó con la aplicación de la herramienta participativa con el fin de medir e identificar la vulnerabilidad al cambio climático de los caficultores en los diferentes departamentos del país y los riesgos que dicha vulnerabilidad provocan en el sector. En la medición se tomaron en cuenta criterios climáticos y de manejo de las fincas. En total se lograron muestrear 1132 fincas distribuidas en siete regiones cafetaleras y 13 departamentos productores de café. Se encontró que el 94% de los productores han percibido cambios en la temperatura; 78% indicaron cambios en los patrones normales de distribución de las lluvias y el 65% se consideró afectado por las sequías; mientras que un 51% identificó que la fertilidad del suelo se ha visto reducida en los últimos años. Otro 12% afirmó que no era evidente la afectación al suelo provocada por la erosión y la baja fertilidad. En cuanto a la afectación por plagas y enfermedades, 66% de los productores indicó que se han incrementado los daños en el cultivo; en referencia a los rendimientos de cosecha, solo un 40% señaló haber experimentado disminución en la producción.

En el mismo estudio, para medir la capacidad adaptativa el IHCAFE consideró los tres estratos que son utilizados mayormente en el manejo de las fincas por parte de los productores: suelo, la plantación de café como tal y el dosel de sombra (Jiménez *et al.* 2017). Para el manejo del suelo se tomó en cuenta como factor más relevante el tratamiento brindado a la pulpa y la cobertura del suelo. Se encontró que el 57% de los productores no da ningún tratamiento a la pulpa y la aplica de forma directa al suelo, 42% la aplica en forma de abono orgánico y 1% no la utiliza en la finca. Por otro lado, el 76% de los productores incorpora la materia orgánica en los carriles de la plantación de café. Sin embargo, el 46% afirmó que no realizan otras obras de conservación del suelo. En cuanto al dosel y la diversificación de sombra, se encontró que un 59% de los productores maneja el cafetal bajo sombra diversificada, principalmente con especies forestales y frutales. Los sistemas restantes se encuentran a pleno sol.

En el marco anterior, en el presente estudio se evaluó si las prácticas para mitigación y adaptación ante el cambio climático promovidas por el IHCAFE, han permitido reducir la vulnerabilidad de las fincas. Para ello se comparó la primera evaluación realizada entre 2015-2016 con la que se realizó en el 2018. La comparación también permitió conocer si las fincas se mantenían en la misma categoría o si habían cambiado, positiva o negativamente, su nivel de vulnerabilidad con respecto a la primera evaluación. Además, se identificaron las principales dificultades que los productores experimentan al tratar de implementar las medidas propuestas, pues muchos de los pequeños productores contaban con recursos limitados. Un aspecto muy importante fue conocer los avances (u atrasos en algunos casos), que han logrado los caficultores según su escala de producción (grandes, medianos y pequeños). Esto permitió generar propuestas de campo más adecuadas a la realidad de cada una de las unidades de producción, tanto para las familias productoras, como para los técnicos, de tal manera que la herramienta utilizada pueda ser fortalecida o enriquecida con estos aportes.

La investigación permitió evaluar el impacto a corto plazo de las medidas de reducción de la vulnerabilidad y aumento de la capacidad adaptativa de fincas cafetaleras de Honduras ante el cambio climático, e identificar los principales factores que limitan a los caficultores para la adopción de las mismas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación y periodo del estudio

El estudio se realizó entre noviembre del 2018 y enero de 2019 en los departamentos del Santa Bárbara y La Paz. En Santa Bárbara se tomó (de la primera evaluación), una submuestra con 36 unidades productoras al azar, donde quedaron representadas las comunidades de Intibucá, Chinda, Gualala, San José de Colinas, San Nicolás, El Nispero, Atimas, San Luis, Nueva Frontera, Arada, Ilama, Colinas, Trinidad, Concepción Sur y Concepción Norte. En el departamento de La Paz se incluyó el mismo número de muestras consideradas en la primera evaluación (21 fincas), localizadas en los municipios de La Paz, San José, Santa María y Tutule. En total se consideraron 57 productores, con un área de finca promedio de 4,94 ha y un rango mínimo y máximo entre 1 y 22 ha.

Técnica de evaluación

Para determinar el nivel de vulnerabilidad y capacidad adaptativa, se utilizó como base los resultados presenta-

dos por Jiménez *et al* (2017), cuyos datos se obtuvieron utilizando la metodología propuesta por Virginio Filho *et al.* (2015), la cual comprende un conjunto de 25 preguntas distribuidas en tres grupos categóricos (exposición, impacto (sensibilidad + exposición) y capacidad adaptativa) (cuadros 1, 2 y 3).

Cuadro 1. Variables de exposición evaluadas en fincas cafetaleras de los departamentos de Santa Bárbara y La Paz, Honduras

¿La mayoría de los suelos en los cafetales y otros usos de la tierra en la finca presentan señales de erosión?
¿La fertilidad de los suelos viene bajando en los últimos 5 o 10 años?
¿Faltan prácticas de conservación de suelo en la mayoría del área? (capacidad adaptativa)
¿Hay floración irregular de café? (impactos)
¿Hay incremento de caída de flores y frutos de café? y/o ¿Hay un aumento en la defoliación de las plantas de café? (impactos)
¿En los últimos 5 o 10 años ha incrementado el daño de plagas y enfermedades en los cafetales? (impactos)
¿Existe disminución de la producción de café en los últimos años?

Cuadro 2. Variables de impacto evaluadas en fincas cafetaleras de los departamentos de Santa Bárbara y La Paz, Honduras

¿Ha habido cambios en la temperatura en los últimos 10 años?
¿En los últimos años (5 o 10 años) las lluvias han sido irregulares?
¿Hay un aumento de lluvia con inundaciones y derrumbes (5 o 10 años)?
¿Hay riesgo de huracanes y tormentas tropicales?
¿Ha habido (últimos 5 o 10 años) sequías, disminución o ausencia de agua en la propiedad?
¿Hay vientos fuertes y/o incrementos de estos en los últimos años (5 o 10 años)?

Para cada variable/pregunta establecida en la herramienta utilizada (Virginio Filho *et al.* 2015), se brindaron tres opciones como respuestas alternativas: “Sí” para indicar respuesta afirmativa sobre la interrogante (limitante), otorgándole valor de -1; “No” para indicar que la limitante no está presente, dándole valor 1; y la opción “más o menos” para indicar que lo que se realiza o percibe es de nivel intermedio, asignando un valor de 0,5. Posteriormente a la entrevista, se realizó la suma del resultado de las variables, para determinar la categoría de vulnerabilidad y adaptación (Cuadro 4) en la que se

encuentra la finca y se valoran aquellas variables con valores negativos para luego verificar las prácticas que se realizan y que se podrían mejorar (Cuadro 5).

Cuadro 3. Variables de capacidad adaptativa evaluadas en fincas cafetaleras de los departamentos de Santa Bárbara y La Paz, Honduras

¿Faltan prácticas de conservación de suelo en la mayoría del área?
¿La diversificación (maderables, frutales y otros cultivos de seguridad alimentaria), la diversidad de aves en el cafetal o finca es baja o no existe?
¿Hay áreas de cafetales en pleno sol o con menos de 20% de cobertura de sombra o con exceso >70%?
¿Los cafetales son viejos (con más de 15 años de establecidos)?
¿Están ausentes variedades de café resistentes a sequía, altas temperaturas? y/o ¿Están ausentes variedades resistentes a enfermedades importantes como roya, ojo de gallo?
¿Está ausente la práctica anual de poda y deshije de cafetos?
¿Está ausente cada año la resiembra de cafetos?
¿Se aplican más de 140 kg de nitrógeno/mz/año (200 kg de N/ha/año) de origen sintético (químico)?
¿Están ausentes las prácticas de aplicación de abonos orgánicos y/o manejo de pulpa y aguas mieles en los cafetales?
¿La mayoría de las quebradas y fuentes de agua están sin cobertura forestal?
¿La mayoría de las áreas de otros usos de la finca están sin asocio con árboles?
¿Están ausentes procesos organizativos sobre mitigación y adaptación al cambio climático?

Cuadro 4. Categorías para evaluar la vulnerabilidad de las fincas cafetaleras de los departamentos Santa Bárbara y La Paz, Honduras

N°	Categoría de referencia	Puntaje obtenido en la valoración
1	Vulnerabilidad prácticamente ausente, excelente capacidad adaptativa	De 20 a 25 untos
2	Vulnerabilidad baja, alta capacidad adaptativa	De 15 a 19 puntos
3	Vulnerabilidad y capacidad adaptativa moderada	De 8 a 14 puntos
4	Vulnerabilidad y capacidad adaptativa regular	De 1 a 7 puntos
5	Vulnerabilidad y capacidad adaptativa medianamente crítica	De -6 a 0 puntos
6	Vulnerabilidad y capacidad adaptativa crítica	De -13 a -7 puntos
7	Vulnerabilidad y capacidad adaptativa muy crítica	De -20 a -14 puntos
8	Totalmente vulnerable y sin ninguna capacidad adaptativa	De -25 a -21 puntos

Fuente: Virginio Filho *et al.* (2015)

Esta investigación fue de suma importancia pues permitió identificar la problemática que impide la adopción de prácticas y medidas que contribuyen a reducir la vulnerabilidad y aumentar la adaptabilidad al cambio climático en las fincas cafetaleras de Honduras. Para ello se realizó una guía de preguntas abiertas que estuvieron enfocadas en conocer la realidad a la que se enfrentan los productores para mantener a flote la producción de café.

Análisis estadístico

Para el procesamiento de los datos recolectados y realizar la comparación entre la primera y la segunda evaluación, se utilizó el programa de modelación estadística InfoStat® (Di Rienzo *et al.* 2014), con el cual se elaboraron tablas de contingencia. Estas tablas permitieron comparar el nivel de asociación entre los niveles de vulnerabilidad y adaptación ante el cambio climático de los dos periodos evaluados. De esta manera se logró determinar si hubo cambios en el nivel de adaptación de cada una de las fincas. Posteriormente, a través del análisis de correspondencia se determinó el grado de asociación entre las variables y el periodo de estudio.

Los datos recolectados para identificar las principales limitantes para la adopción de prácticas para reducir la vulnerabilidad y aumentar la capacidad adaptativa, fueron revisados individualmente, y se identificaron palabras claves dentro de las respuestas recibidas para cada pregunta. De esta forma se determinaron los hallazgos esenciales detallados en las respuestas de los participantes y posteriormente se aglomeraron en grupos y se elaboraron tablas de frecuencia para determinar cuáles eran las palabras claves que aparecían con mayor incidencia.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las tablas de contingencia elaboradas indican que existe asociación entre las categorías de vulnerabilidad y el periodo de estudio ($p=0.0153$). Los datos de frecuencia absoluta obtenidos para cada una de las categorías se muestran en la Figura 1, donde se puede observar cuántos productores se encuentran en los distintos niveles de vulnerabilidad.

En esta figura se puede apreciar que en el periodo 2015/16 había más productores en las categorías de vulnerabilidad medianamente crítica y crítica, pero algunos pasaron a las categorías de vulnerabilidad moderada y regular en la segunda medición, lo cual indica que hubo cambios positivos entre los niveles de vulnerabilidad

Cuadro 5. Identificación de limitantes para la adopción de prácticas y medidas para contribuir a reducir la vulnerabilidad y aumentar la adaptabilidad de fincas cafetaleras de los departamentos de Santa Bárbara y La Paz, Honduras

N°	Preguntas	Respuestas	Observaciones
1	¿Cuáles son las medidas que han sido más fáciles de adoptar? ¿Por qué?		
2	¿Cuáles son las medidas que se están ejecutando actualmente? (o que están en proceso de ejecución)		
3	¿Cuáles son las medidas que usted considera que no está en la capacidad de implementar? ¿Por qué?		
4	¿Qué requerimiento considera que son necesarios para ser capaz de implementar todas las medidas?		
5	¿Considera que la capacitación y materiales proporcionados por el IHCAFE han sido de ayuda?		

y capacidad adaptativa en el periodo de estudio, más o menos tres años después de implementar las prácticas recomendadas. Pero también se observan cambios negativos porque el 14% de los participantes que en la primera medición estaban en la categoría de vulnerabilidad baja y capacidad adaptativa alta, pasaron al 12,2%, lo que indica que se dio un movimiento a categorías de vulnerabilidad y capacidad adaptativa regular o moderada.

Los resultados de este estudio son consistentes con los encontrados por Baca *et al.* (2014), quienes estudiaron la vulnerabilidad y capacidad adaptativa en fincas cafetaleras de México, El Salvador, Guatemala y Nicaragua. Según los resultados de ambos estudios, algunas fincas de municipios de México alcanzan niveles de vulnerabilidad medios, comparables con los de las fincas de los departamentos estudiados de Honduras. En fincas de otros municipios de Guatemala, El Salvador y Nicaragua, el estudio de Baca *et al.* encontró niveles de vulnerabilidad muy altos, parecidos a los que se reportan en algunos departamentos de Honduras en el 2015/16.

Este trabajo es una referencia para reconocer si el cambio climático está afectando fuertemente el sector cafetalero, independientemente de las características edafoclimáticas de cada región, país o departamento, tal como se evidencia en la situación actual de las fincas de

los departamentos de Santa Bárbara y La Paz. También es evidente que los cambios son frágiles, o sea que los niveles de vulnerabilidad pueden subir como bajar en un plazo corto de tiempo, por lo que es ideal realizar todas las prácticas posibles de la metodología evaluada. No obstante, debe tomarse en cuenta que para que una práctica sea completamente adoptada y se pueda apreciar su efecto, la continuidad es determinante; es decir, que no se logra un cambio significativo si solamente se ejecuta la práctica, es necesario que el productor la mantenga y le dé un seguimiento adecuado, un ejemplo es el establecimiento de sombra y su manejo, cuyos resultados positivos y ajustes necesarios (según las características del lugar y posibilidades y creatividad de los productores), son solo posibles a través del tiempo.

Todos los productores consideran que han visto cambios en el comportamiento del clima; sin embargo, al momento de la evaluación, en promedio entre ambos departamentos, sólo se realizaban 6,7 prácticas establecidas para contrarrestar el impacto del clima. Este resultado muestra que hay una respuesta baja en relación con los cambios observados en el patrón del clima y las prácticas realizadas. A pesar de lo anterior, los resultados obtenidos difieren de los del Harvey *et al.* (2018), quienes encontraron que en la región centroamericana los productores realizan 1,5 prácticas de adaptación en promedio.

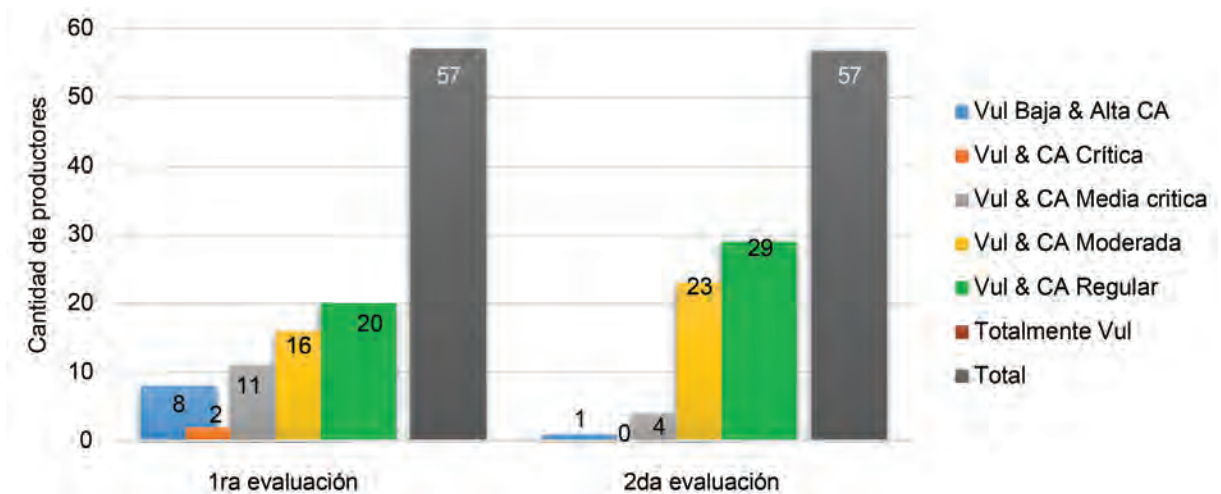


Figura 1. Niveles de vulnerabilidad y capacidad adaptativa ante el cambio climático antes y después de implementar prácticas de adaptación en fincas cafetaleras de los departamentos Santa Bárbara y La Paz, Honduras

Según la comparación de los resultados entre las fincas de los departamentos, se encontró que ambos alcanzan, mayormente, niveles de vulnerabilidad y capacidad adaptativa regulares: 52,4% en La Paz y 50% en Santa Bárbara. Por otra parte, el 42,8% de los participantes de La Paz y el 38,8% de Santa Bárbara se ubican en niveles moderados de vulnerabilidad. Sin embargo, 11,1% de los productores de Santa Bárbara alcanzan una vulnerabilidad crítica y un 4,8% de los de La Paz vulnerabilidad baja y alta capacidad adaptativa (Figura 2).

Considerando que Santa Bárbara presentó la mayor cantidad porcentual de fincas en las categorías inferiores (sumado los casos en condición regular y medianamente crítica), la situación es más problemática que la relacionada al departamento de La Paz. Estos resultados se pueden atribuir a que los productores de este Departamento realizan en promedio 9,6 prácticas; mientras que los de Santa Bárbara 3,7 prácticas. Otra de las diferencias encontradas es la cantidad de variedades de café utilizadas: 2,7 en La Paz y 1,9 en Santa Bárbara.

Durante la entrevista se solicitó a los productores expresar cuáles han sido los problemas principales que han enfrentado y que han superado, pero que siguen siendo obstáculos para implementar las prácticas de adaptación y mitigación ante el cambio climático (Figura 3).

La principal limitante encontrada es la falta de recursos económicos (FRE), mencionada por un 22,8% de los entrevistados, dado que el sustento de la familia depende de la venta del café y este del precio internacional que según el 10,5% de los productores

conducen a que es demasiado bajo (PBC) y no se generan ganancias suficientes para invertir en el rubro. El precio del café ha caído significativamente durante los últimos años (Rubén 2018 y OIC 2018), ubicándose por debajo del valor mínimo garantizado por FairTrade y además el café de Honduras es 20% más barato que el de Guatemala y 30% que el de Costa Rica.

Por otro lado, es importante indicar que cuando suben los precios se incrementa el área cultivada de café, ya que el precio alto motiva a muchos productores a aumentar su área de siembra con la esperanza de que dicho precio se mantenga estable, lo cual no sucede debido a la gran oferta del producto en el mercado. Entonces, mientras no mejoren los precios y se mantengan las posibilidades de que los productores adopten más prácticas de adaptabilidad y continúen realizando las que ya adoptaron son reducidas. Por otro lado, el cafetalero hondureño no está protegido, ya que no existe una ley que garantice un precio mínimo a pagar, independientemente del precio en el mercado internacional.

El 19,2% de los productores indicaron limitantes dentro de la categoría “menos frecuentes” relacionadas con el acceso a créditos, condiciones meteorológicas, fertilización y baja producción. La falta de fertilización y el poco manejo a las plantaciones están ligados a los bajos ingresos recibidos por los productores. La reducción de la producción por su parte está vinculada a la alta incidencia de la roya. Según los productores no tienen acceso a créditos, sin embargo, IHCAFE y el banco del café ofrecen créditos que los productores pueden pagar con el descuento que se realiza sobre la producción

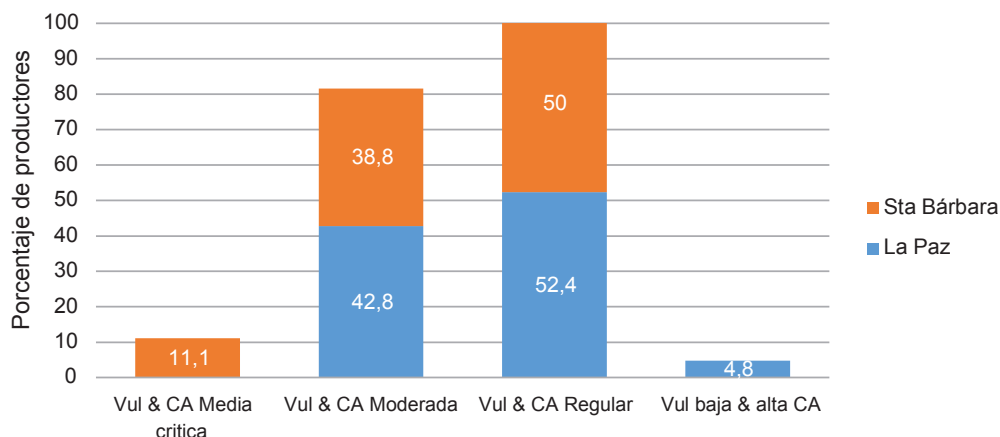


Figura 2. Niveles de vulnerabilidad y capacidad adaptativa entre fincas cafetaleras de los departamentos Santa Bárbara y La Paz, Honduras

reportada; no obstante, para los productores no es suficiente para atender todas las necesidades del cafetal. USDA (2018) confirma que los productores cafetaleros de Honduras no tienen acceso a crédito específicamente para tomar medidas preventivas contra la roya. El crédito que ofrece el banco es sobre la producción reportada de la última cosecha, lo que significa que hay menos posibilidades para los que han sido más afectados y han perdido gran parte de la producción. Además, según lo expresado por los cafetaleros, el acceso a los préstamos no está abierto todo el año ni todos los años.

Otro factor que se convirtió en limitante semanas antes de la visita fue la escasez de mano de obra (E mo). Esta problemática se dio a raíz de las migraciones de un buen grupo de la población rural a otros países. Además, según los productores, los cortadores de café ya no quieren llegar por su cuenta hasta las fincas (como se hacía tradicionalmente hace varios años); sino que solicitan que se les brinde el transporte de ida y regreso, sin descontarlo de la paga; lo cual para muchos de los productores no es posible porque no cuentan con los medios. El acceso a mano de obra, sobre todo en época de cosecha, se ha vuelto cada año más limitada, debido a la ola de migración de cientos de personas de áreas rurales hacia otros países o hacia otros departamentos, en búsqueda de mejores oportunidades. Los productores en varias ocasiones mencionaron que han perdido parte de la cosecha porque no encuentran mano de obra para realizarla y solos no lo pueden hacer. Por otro lado, Baca *et al.* (2014) y Ruben *et al.* (2018) encontraron que los grupos de productores que tenían niveles de vulnerabilidad altos, provenientes de comunidades de Nicaragua,

Guatemala, El Salvador y México, atravesaban situaciones semejantes en cuanto a disponibilidad de mano de obra debido a altos índices de migración. Mientras los precios del café no mejoren, la gente buscará otras alternativas de trabajo dentro o fuera del país.

El 12,2% de los productores indicó que lo que ha sido muy difícil (y en algunos casos se han podido superar), es la resiembra, recepa y renovación (RRR); especialmente la renovación debido a que requiere una inversión alta de capital humano y económico. La recepa, según una parte de los productores, afecta los rendimientos; mientras que otros consideran que manteniendo las podas de bandolas es suficiente. La resiembra es una práctica que los productores no están habituados a realizar. El IHCAFE ha impulsado programas de renovación de cafetales a la que los cafetaleros inscritos podían aplicar; los pagos se hacían a través de un aporte bajo en cada cosecha; de esta forma muchos lograron superar esta limitante.

Realizar la recepa genera un cierto temor en los productores que, aunque saben de sus beneficios, prefieren producir poco a que la producción baje significativamente. La renovación es percibida como un mal necesario, ya que según ellos renovar una manzana de terreno implica un costo económico que rebasa sus posibilidades; aunque el IHCAFE los apoya facilitándoles las plantas, algunos productores no aceptan el apoyo porque, según indican, pagar las plantas con los ingresos de sus cosechas reduce sus ingresos financieros. La resiembra sí la realizan, pero con plantas que provienen de almácigos propios cuya genética de la semilla se

desconoce; no obstante, los productores suelen guiar su selección por las características fenotípicas de la planta, el problema aquí es que una planta puede presentar características fenotípicas relativamente buenas, pero puede ser genéticamente susceptible a enfermedades.

La roya fue uno de los tópicos más mencionados por los entrevistados. Sin embargo, solo un 5,2% mencionó que la enfermedad sea el factor más limitante hasta el momento. Esta población considera que los insumos para el control de roya son excesivamente caros. Además, no cuentan con un plan de fertilización ni producción de abonos orgánicos y variedades resistentes, como parte de las buenas prácticas para el control de roya indicadas por Virginio Filho y Astorga (2015). Mientras otro tanto de la población no consideró la roya de mucha importancia ya que tienen variedades de café en parcelas distintas, realizan la regulación de sombra y efectúan entre 1 a 2 fertilizaciones por año; aunque no han erradicado la enfermedad, han aprendido a convivir tolerando cierto umbral de daño económico.

En cuanto al acompañamiento técnico y las capacitaciones brindadas por el IHCAFE, un 7% de los productores las consideran insatisfactorias y limitantes. La razón principal que indican es que las visitas, el seguimiento y las capacitaciones no son muy frecuentes como ellos quisieran. Un 5,2% de los encuestados no contestó esta pregunta. Un grupo considerable de productores indicó que una de las limitantes que surge todos los años es que la asistencia técnica no es constante. Por ejemplo, en comunidades del departamento de La Paz se encontraron productores que recibieron la última visita por

parte de un técnico hace cinco años. La razón dada a esta desproporción entre las áreas asistidas y el número de técnicos es que el IHCAFE cuenta con un número de técnicos insuficiente para atender la cantidad de fincas productoras existentes en el país. La misma situación se da con la oferta de actividades de capacitación. Esta limitación institucional compromete los avances en cuanto al establecimiento y seguimiento de las prácticas que buscan reducir la vulnerabilidad, pues hasta cierto punto los productores necesitan a alguien que los guíe, oriente y los motive para implementar las actividades.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Los productores cafetaleros de los departamentos de La Paz y Santa Bárbara, en su mayoría siguen moderadamente expuestos ante las amenazas climáticas, lo que ha provocado impactos en su producción y en la calidad de vida de las familias.

A través de la investigación se encontró que en un corto periodo de tiempo se dieron cambios en los niveles de vulnerabilidad y capacidad adaptativa, tanto de forma positiva como de forma negativa, ya que en algunas variables se observó una mejoría; mientras que en otras no. Los cambios más significativos se dieron en el departamento de La Paz; aunque en Santa Bárbara los cambios no fueron significativos, siguen siendo un avance importante para lograr la adaptación al cambio climático.

Las principales limitantes encontradas fueron de carácter económico, generadas por los bajos precios internacionales del café; la gestión del conocimiento

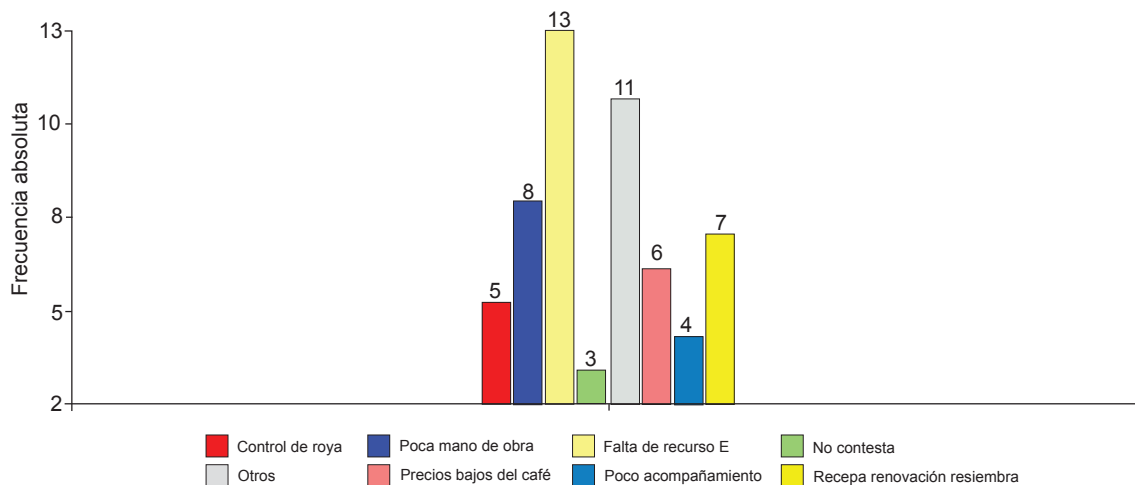


Figura 3. Limitantes enfrentadas y superadas al implementar las prácticas de adaptación y mitigación ante el cambio climático en fincas cafetaleras de los departamentos Santa Bárbara y La Paz, Honduras

que no llega al 100 por ciento de los productores y la escasez de mano de obra debido a la migración masiva de las zonas rurales a zonas urbanas u otros países. Los productores proponen superar las limitantes a través del reforzamiento de capacitaciones, acompañamiento técnico y la asociación entre cafetaleros.

Para tener información más confiable en cuanto a la vulnerabilidad y capacidad adaptativa de las unidades productivas de café, es necesario medir cada una de las variables comprendidas en la evaluación de manera más detallada; de esta forma se podrían formular estrategias locales adaptadas a las características y realidad de cada zona de estudio.

Es necesario analizar financieramente cada una de las prácticas sugeridas en la herramienta de evaluación de vulnerabilidad y capacidad adaptativa ante el cambio climático, ya que cada una de ellas conlleva una inversión de capital económico y humano; por ende, es necesario indicarles a los productores desde un inicio cuánto cuesta implementar una práctica y cuánto será el retorno cuando se vean los efectos de las mismas.

Capacitar a los productores en destrezas empresariales y de mercadeo para que puedan innovar y le den valor agregado al café y a otros cultivos que produzcan en su finca, de esta forma se amortiguaría el daño económico provocado por las fluctuaciones en el precio internacional del café.

BIBLIOGRAFÍA

- Baca, M; Läderach, P; Hagggar, J; Schroth, G; Ovalle, O. 2014. An Integrated Framework for Assessing Vulnerability to Climate Change and Developing Adaptation Strategies for Coffee Growing Families in Mesoamerica. PLoS ONE 9(2): e88463. doi:10.1371/journal.
- CONACAFE (Consejo Nacional del Café); IHCAFE (Instituto Hondureño del Café). 2011. Desarrollo competitivo de la cadena de valor del café en postcosecha y comercialización interna en Honduras. Tegucigalpa, Honduras. 52 p.
- Di Rienzo, JA; Casanoves, F; Balzarini, MG; González L; Tablada, M; Robledo, CW. 2014. InfoStat versión 2014. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba. Córdoba, Argentina. Consultado 3 jun. 2019. Disponible en: [http:// www.infostat.com.ar](http://www.infostat.com.ar)
- Harvey, CA; Saborío-Rodríguez, M; Martínez-Rodríguez, MR; Viguera, B; Chain-Guadarrama, A; Vignola, R; Alpizar, F. 2018. Climate change, impact and adaptation among smallholder farmers in Central America. Agriculture and Food Security 7:(article number 57).
- IHCAFE (Instituto Hondureño del Café). 2017. Memoria cosecha 2016-2017 (en línea). Revista disponible en <https://www.ihcafe.hn/>
- Jiménez, G; Detlefsen, G.; Virginio Filho, E. de M. 2017. Vulnerabilidad y capacidad adaptativa al cambio climático de pequeños productores de café en Honduras. Trabajo presentado en el XXIII Simposio Latinoamericano de Caficultura, San Pedro Sula, Honduras, 23 al 26 de agosto de 2017. PROMECAFE-IHCAFE. 17 p.
- OIC (Organización Internacional del Café). 2018. Informe del Mercado del Café, febrero 2018. El Mercado del café baja más en medio de Fuertes exportaciones mundiales (en línea). s. n. t. 6 p. Disponible en <http://www.ico.org/documents/cy2017-18/cmr-0218-c.pdf>
- PROMECAFE (Programa Cooperativo Regional para el Desarrollo Tecnológico y Modernización de la Caficultura). 2017. Informe especial América Central. s. l. Fews Net/Promecafe 10 p. Disponible en <https://www.fews.net/sites/default/files/documents/reports/Centroamerica - Informe Especial - Sector Cafetalero 2017.pdf>
- Ruben, R; Sfez, P; Ponsioen, T; Menenes, N. 2018. Análisis integral de la cadena de valor de café en Honduras. Wageningen, The Netherlands, Wageningen University & Research. 98 p.+ anexos (Informe por la Unión Europea, DG-DEVCO. Value Chain Analysis for Development Project (VCA4D CTR 2016/375-804)
- USDA (United State Department of Agriculture). 2018. Honduras coffee annual report. Global Agricultural Information Network.
- Virginio Filho, EdeM; Florian, E; Astorga, C. 2015. Fortaleciendo procesos para la adaptación y mitigación del cambio climático con familias productoras de café en Honduras: manual para la facilitación. Turrialba, Costa Rica, CATIE.

Sistemas agroforestales de café: ingreso y autoconsumo familiar de pequeños productores en República Dominicana

Yisneiry Mercedes Tapia Polanco¹, Rolando Cerda², Elias de Melo Virgínio Filho³,
Leila Bagny Beilhe⁴, Amadeo Escarramán⁵

RESUMEN

El potencial de los productos en sistemas agroforestales de café (SAFC) es reconocido, sin embargo, estudios que reflejen la cuantificación de sus rendimientos, ingresos, valor de autoconsumo y el aporte que realizan a la seguridad alimentaria de las familias en República Dominicana, aún siguen siendo escasos. Esta información es relevante para contribuir a mejorar la calidad de vida de los pequeños caficultores, mientras se conserva la biodiversidad y se aprovechan los servicios ecosistémicos que brindan estos sistemas de producción. Este estudio analizó la contribución de los productos tangibles en cafetales dominicanos de diferentes tipologías. Las contribuciones se determinaron según los ingresos y el consumo interno de las familias productoras en 40 SAFC agrupados en cuatro tipos definidos *a priori*, tomando en consideración las densidades de especies de sombra y las áreas basales de los cafetales. La hipótesis general planteada para este estudio consistió en que los productos agroforestales son tan importantes como el café como contribución a los medios de vida de las familias de pequeños productores. Se estudió la diversidad arbórea y se caracterizó la estructura, el manejo, vulnerabilidad y adaptabilidad al cambio climático. Para ello se cuantificaron los rendimientos de los productos agroforestales y su contribución a los indicadores socioeconómicos como ingresos netos, flujo de efectivo, valor de autoconsumo y beneficio familiar. Los productos agroforestales generaron ingresos económicos y un alto valor de consumo doméstico, lo que contribuyó al ahorro familiar y a la seguridad alimentaria. Los indicadores socioeconómicos (flujo de efectivo y valor de autoconsumo) se relacionaron positivamente con la diversidad botánica. Los SAFC de tamaño pequeño y pequeño-moderado, la presencia de un gran número de especies cosechadas, alta densidad de frutales y plantas de café (C1), y tamaño pequeño y pequeño-moderado, alta densidad de árboles maderables y alta densidad de plantas de café (C4), fueron considerados como modelos promisorios. Por otra parte, el 60 % de los SAFC se encuentran en la categoría de vulnerabilidad y capacidad adaptativa medianamente críticas. Los resultados de este estudio permitieron definir estrategias para el sector cafetalero dominicano.

Palabras claves: diversidad arbórea, rendimientos, indicadores socioeconómicos, seguridad alimentaria.

ABSTRACT

The potential products in agroforestry coffee systems (SAFC) is valued, however, there are limited studies on the quantification of the yields, income, self-consumption value and the contribution that SAFC make to the food security of coffee farmer families in the Dominican Republic. This information would be important to improve the quality of life of small scale coffee farmers; while conserving biodiversity and ecosystem services provided by these production systems. This study analyzed the contribution of tangible products in Dominican coffee plantations of different types. Contributions were determined according to the income and internal consumption of families in 40 coffee agroforestry systems (SAFC) grouped under four different types defined *a priori*, based on the tree densities of shade species and basal areas of the coffee plantations. The general hypothesis was: agroforestry products are as important as coffee as a contribution to the livelihoods of small scale coffee farmers. Coffee farms were characterized by defining tree diversity in the farm, the structure, management, level of vulnerability and adaptability to climate change. The yields of agroforestry products and the following socioeconomic indicators were quantified: net income, cash flow, self-consumption value and family benefit. Agroforestry products generated an important economic income to the families and had a high domestic consumption value, which contributed to the family savings and food security. Socioeconomic indicators (cash flow and self-consumption value) were positively related to botanical diversity. SAFC of small and small-moderate size coffee farms had a large number of species that produced fruits, had a high density of fruit trees and coffee plants (C1), and small and small-moderate size, high density of timber trees and high density of coffee plants (C4), were treated as promising models. On the other hand, 60% of SAFC are in the category of moderately critical vulnerability and adaptive capacity. Based on the findings of this research, important strategies were recommended to improve the coffee sector in Dominican Republic.

Keywords: tree diversity, yields, socioeconomic indicators, food security.

1 CATIE-Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, Costa Rica; Yisneiry.Tapia@catie.ac.cr

2 CATIE-Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, Costa Rica

3 CATIE-PROCAGICA-IICA-UE, Costa Rica

4 CIRAD-Centro de Cooperación Internacional en Investigación Agronómica para el Desarrollo, Costa Rica

5 INDOCAFE-Instituto Dominicano del Café, República Dominicana

INTRODUCCIÓN

Los sistemas productivos familiares a pequeña escala, es decir, productores con menos de diez hectáreas, son responsables de la producción de aproximadamente el 70% del café del mundo (Brown *et al.* 2001, Canet Brenes *et al.* 2016). Sin embargo, la mayoría de los productores viven en pobreza y la producción de sus productos básicos ha disminuido a nivel mundial (Zimmerer 2007, Romo 2019), a lo cual se suma la caída de los precios del café que afecta significativamente la calidad de vida de estas familias (Bacon 2005, Peñaló y Ramírez 2017, CEPAL *et al.* 2018). El aumento de la productividad y generación de ingresos adicionales genera una diversificación de productos que puede contribuir a la subsistencia de las familias productoras ya que generan productos frutales, maderables y leña y las ganancias de estos productos reduce efectos económicos perjudiciales causados por la producción y la fluctuación de precios del mercado cafetalero, además de que el costo de producción de árboles frutales y maderables suele ser más bajo que el de cultivar café. Estos sistemas además constituyen opciones de adaptación inteligente y sostenible frente a la variabilidad climática (Somarriba 1990, Muschler 1999, Albertin y Nair 2004).

La presencia de árboles de sombra en cafetales crea un ambiente similar al bosque donde se origina el café, lo que genera una mayor estabilidad al cultivo (Barros y Maestri 1995). Según algunos estudios, la producción de café en sistemas agroforestales puede modificar su rendimiento, generando menor producción en comparación con un sistema establecido bajo monocultivo (Campanha *et al.* 2004; Jaramillo-Botero *et al.* 2010); pero estos argumentos son desafiados por diversos estudios que demuestran que, entre estos dos factores, no hay efecto (Cerdeira *et al.* 2017; Meylan *et al.* 2017), si los diseños y manejos son adecuados. Muchos estudios económicos en SAFC, muestran poca atención a la producción agroforestal obtenida de las especies de sombra; pese a que los precios más altos del café son dados por la calidad del grano y algunos autores relacionan esta variable con altos niveles de sombra (Lyngbaek y Muschler 2001; Vaast *et al.* 2006).

De acuerdo con Toral (2020), las especies arbóreas más comunes utilizadas como sombra en los cafetales de República Dominicana son: *Inga* spp., *Erythrina poeppigiana*, *Ficus* spp., *Cordia* spp., *Guarea guidinia*, *Cecropia peltata*, *Cedrela odorata*, *Cassia spectabilis*, *Gliricidia sepium* y *Ricinus communis*. Por otra parte, en estos sistemas el consumo interno es un indicador

de ahorro familiar, lo cual es importante para los agricultores que viven en pobreza (Cerdeira *et al.* 2014). A estos beneficios también se les puede agregar aquellos que son derivados de diferentes especies de frutas, donde las oportunidades de ingresos se pueden extender a lo largo del año (Leakey *et al.* 2005). Algunas de las especies frutales más utilizadas en cafetales dominicanos son: *Musa* spp., *Citrus* spp., *Persea americana*, *Mangifera indica* y *Pouteria sapota* (Núñez y Cuevas 2004). En cuanto a la seguridad alimentaria de las familias, los hogares agrícolas de zonas cafetaleras están experimentando una inseguridad alimentaria transitoria (Magcale-Macandog *et al.* 2010); y según Garrity (2004), esos problemas en zonas rurales pueden ser abordados mediante la adopción de prácticas agroforestales y la diversificación de frutales.

Este estudio abordó las siguientes preguntas de investigación: (i) ¿cómo es la estructura agroforestal, manejo, vulnerabilidad y adaptabilidad al cambio climático de los principales tipos de SAFC dominicanos? (ii) ¿cuál es el tipo de SAFC que más contribuye a los beneficios familiares?, y (iii) ¿qué relación existe entre los indicadores de beneficios y la diversidad botánica? Partiendo de los resultados de este estudio, se generaron recomendaciones para diseñar una tipología de café ideal tomando en cuenta su estructura agroforestal y manejo agronómico-agroforestal.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio y tipos de SAFC evaluados

El estudio se realizó en siete de las nueve regiones cafetaleras de República Dominicana establecidas por el INDOCAFE (Figura 1). Se estudiaron 40 SAFC los cuales fueron seleccionados de una base de datos de 407 distribuidos en todas las regiones cafetaleras. Estos SAFC estuvieron ubicados a un rango altitudinal entre los 350 msnm a 1417 msnm. De las regiones seleccionadas en este estudio, la norte, central, norcentral y sur son las más importantes ya que es ahí donde se produce la mayor parte de la producción nacional de café (CEPAL *et al.* 2018).

A priori, se realizó un análisis de conglomerados utilizando el algoritmo de agrupación Ward y la distancia euclídea estandarizada con las densidades del dosel de sombra, superficie de cafetales y áreas basales de especies del dosel. El estudio identificó cuatro tipos de SAFC. Tomando en cuenta dos rangos altitudinales, se seleccionaron 10 SAFC de cada tipo de cafetal; cinco en la zona alta (>800 msnm) y cinco en la zona baja

(<800 msnm). Los SAFC seleccionados fueron heterogéneos entre tipo de cafetal y homogéneos entre sí; pero se buscó que tuvieran un manejo similar dentro de cada tipo de SAFC y un área menor a 10 ha. Los cuatro tipos de SAFC que se identificaron *a priori* fueron los siguientes.

- (1) C1: tamaño pequeño y pequeño-moderado, gran número de especies cosechadas, alta densidad de frutales y plantas de café.
- (2) C2: tamaño pequeño, alta densidad de árboles de servicio, alta densidad de árboles maderables, maderables con DAP > 30 cm y gran número de especies cosechadas.
- (3) C3: tamaño pequeño y pequeño-moderado, alta densidad de bananos, alta densidad del dosel y densidad moderada de árboles de servicio.
- (4) C4: tamaño pequeño y pequeño-moderado, alta densidad de árboles maderables y alta densidad de plantas de café.

Variables de estudio

En cada SAFC se delimitó una parcela de medición de 50 m x 20 m en un lugar diversificado y representativo de la finca. Se midieron variables cuantitativas y cualitativas para cada familia y SAFC. Dentro de las variables cuantitativas consideradas se incluyen: (1) riqueza de especies (total y por uso); (2) índice de biodiversidad (recíproco de Simpson 1/D); (3) densidad de plantas de café y dosel de sombra; (4) área basal arbórea por uso (m²); (5) altura total y comercial de cada árbol del dosel (m); (6) volumen total y comercial de cada árbol del dosel (m³); (7)

frecuencia de aplicación de prácticas de manejo año⁻¹ (fertilización, enmiendas, fungicidas, insecticidas, control de malezas químico y manual, poda y manejo de tejidos); (8) costos de mano de obra contratada y familiar; (9) costos de insumos; (10) vulnerabilidad y capacidad adaptativa al cambio climático (categoría de referencia); (11) rendimiento y precio de cada producto agroforestal; (12) indicadores socioeconómicos (USD): ingreso bruto, ingreso neto, flujo de efectivo, beneficio familiar, valor de autoconsumo y beneficio de la familia por día laboral.

Las variables cualitativas que se consideraron incluyen: (1) aporte de cada nutriente a las familias (sí/no aporta) y (2) estimación de pérdidas de productos agroforestales frente a eventos climáticos, ataque de plagas y enfermedades y mano de obra deficiente (sí/no ha habido pérdidas).

Estructura del dosel de sombra: riqueza, diversidad y densidad de especies

Se realizó un inventario y mediciones de todas las plantas que forman parte del dosel de sombra en cada parcela de medición. Se clasificó cada árbol según el tipo de planta: fruta (incluyendo palmas), bananos, madera, árboles de servicio (sólo proporcionan sombra, ayudan a mejorar los suelos, entre otros) y leña. El uso de cada especie se clasificó en frutales, maderables y servicio. Además, se separó la etapa productiva de los árboles frutales: productivo (cuando el árbol está creciendo o ya es adulto, vigoroso y produce) y no productivo (cuando el árbol es débil y la producción ha disminuido considerablemente).

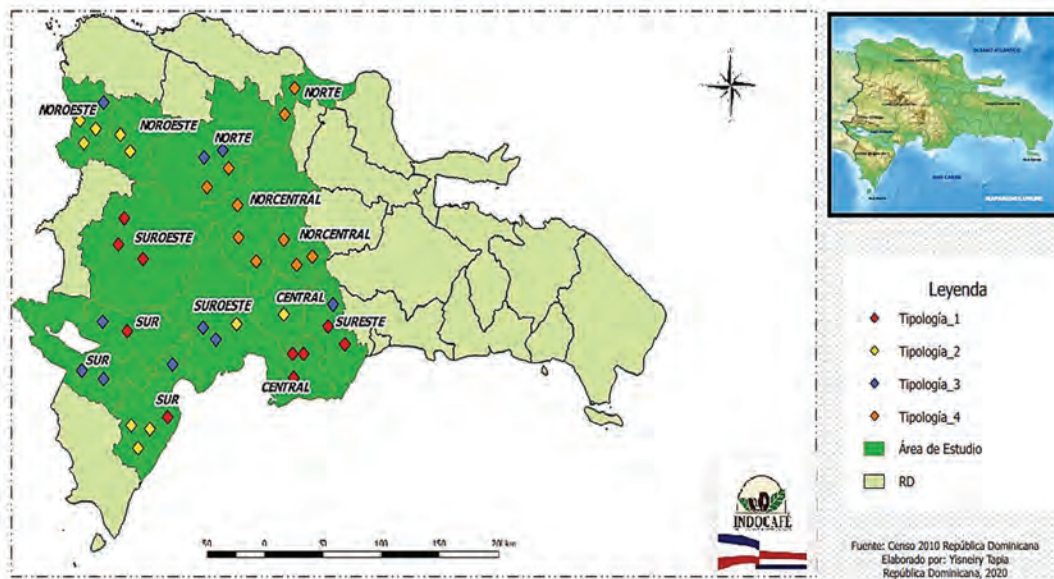


Figura 1. Área de estudio según tipos de sistemas agroforestales de café, República Dominicana

Los bananos se clasificaron en dos categorías: (1) bajos (1,0-1,5 m de altura); y (2) altos (1,5-3,0 m de altura), debido a que en los SAFC dominicanos hay alta densidad; estos fueron cuantificados e incluidos en el inventario, sin embargo, solo se midió un banano por cada categoría en cada SAFC. En cuanto al cultivo del café, se seleccionaron ocho plantas dentro de la parcela de medición y se obtuvieron datos sobre variedad y edad, los cuales fueron validados con el productor y mediciones para determinar el marco de plantación y/o densidad de plantas.

Manejo del SAFC

Se aplicaron encuestas semiestructuradas a los productores para determinar la frecuencia de aplicación de prácticas de manejo durante el año, así como el costo que estas actividades conllevan, incluyendo los insumos utilizados. Los costos fueron clasificados en dos tipos: costos en especie, representado por la mano de obra familiar y costos en efectivo, que fueron todos los costos que requerían pago en efectivo (insumos y mano de obra contratada).

Vulnerabilidad y adaptabilidad al cambio climático

Se utilizó la metodología de Virginio *et al.* (2017), mediante una evaluación participativa la cual incluyó la aplicación de 25 preguntas orientadoras relacionadas con la vulnerabilidad y capacidad adaptativa del sistema agroforestal al cambio climático. Se le pidió a cada productor que valorara de manera cualitativa esas preguntas. Se corroboró la información con el aporte del productor y visitas de campo en fincas.

Las variables estudiadas se relacionaron con aspectos ligados al cambio climático en la zona y posibles consecuencias productivas y ambientales. Las variables se

clasificaron en: (1) variables de exposición; (2) variables de impactos (sensibilidad + exposición) y (3) variables de capacidad adaptativa. Para cada pregunta planteada relacionada con cada variable mencionada, se tenían tres opciones de respuesta y un valor de referencia: (1) Sí = -1, para cuando se contestó de manera afirmativa sobre el fenómeno preguntado, (2) No = 1, para expresar la negativa de ocurrencia del fenómeno y (3) ± = 0,5, para cuando se indicó que el fenómeno ocurre, pero en un nivel intermedio. Para determinar la categoría de vulnerabilidad y adaptación en que se encuentra cada SAFC, se hizo una sumatoria de todos los valores obtenidos por unidad productiva, obteniendo como resultado un puntaje que indica la categoría de evaluación a la que pertenece cada SAFC (Cuadro 1).

Producción agroforestal e indicadores socioeconómicos

Se aplicó la metodología propuesta por Cerda *et al.* (2014) para estimar el rendimiento de todos los productos agroforestales: café, banano, cítricos, aguacate, otras frutas, otros productos, tubérculos y madera (ya sea para venta y/o consumo interno). Para esto se aplicaron encuestas semiestructuradas a las familias productoras de cada SAFC. Para calcular indicadores socioeconómicos se utilizaron los precios del mercado (a puerta de finca), independientemente de que si los productos fueron vendidos o utilizados para consumo interno. Con respecto al café, se tomó en cuenta el precio al que fue pagado en las cooperativas o asociaciones ubicadas en el área de estudio. El valor de la madera en pies cúbicos de tabla (ft³ pie tablar) se analizó por separado, utilizando la ecuación genérica de Cerda y Andrade (2019), la cual estima el volumen comercial de la madera por tronco de árbol. Posteriormente, el ingreso bruto (IB), ingreso neto (IN), flujo de efectivo (FE), beneficio familiar (BF), valor de autoconsumo (VA) y beneficio de la

Cuadro 1. Categorías empleadas para evaluar la vulnerabilidad al cambio climático en sistemas agroforestales de café en República Dominicana

Categoría de referencia	Puntaje obtenido en la valoración
1. Vulnerabilidad prácticamente ausente. Excelente capacidad adaptativa	De 20 a 25 puntos
2. Vulnerabilidad baja. Alta capacidad adaptativa	De 15 a 19 puntos
3. Vulnerabilidad y capacidad adaptativa moderadas	De 8 a 14 puntos
4. Vulnerabilidad y capacidad adaptativa regulares	De 1 a 7 puntos
5. Vulnerabilidad y capacidad adaptativa medianamente críticas	De -6 a 0 puntos
6. Vulnerabilidad y capacidad adaptativa críticas	De -13 a -7 puntos
7. Vulnerabilidad y capacidad adaptativa muy críticas	De -20 a -14 puntos
8. Totalmente vulnerable y sin ninguna capacidad adaptativa	De -25 a -21 puntos

Fuente: Virginio Filho *et al.* (2017).

familia por día laboral (BFDL) que aportan los SAFC a los hogares, se calcularon de la siguiente manera:

- $IB = \text{productos agroforestales destinados para venta} \times \text{precio de mercado}$
- $IN = IB - (\text{costos en efectivo} + \text{costos en especie})$
- $FE = IB - \text{costos en efectivo}$
- $VA = \text{cantidad de productos agroforestales para consumo interno} \times \text{precio del mercado}$
- $BF = FE + VA$
- $BFDL = FE / \text{número de días trabajados por miembros de la familia}$

Los resultados se expresaron en dólares de los Estados Unidos de América como US\$.

Relaciones entre indicadores socioeconómicos y diversidad botánica

Se realizó una regresión lineal con variables auxiliares dummy, utilizando 16 modelos de regresión general y mixto. Las variables de diversidad botánica que se consideraron para este análisis fueron: (1) índice recíproco de Simpson; (2) riqueza total de especies; (3) densidad de dosel de sombra; y (4) área basal de dosel de sombra. Por otro lado, las variables socioeconómicas que se utilizaron fueron: (1) ingreso neto; (2) flujo de efectivo; (3) valor de autoconsumo y (4) beneficio familiar. Con el fin de evaluar el efecto de las variables predictoras (variables de diversidad botánica) y sus interacciones con las variables respuestas (variables socioeconómicas)

en los tipos de SAFC, se tomó cada variable de diversidad botánica como una covariable; como efecto fijo el tipo de SAFC e interacción entre tipos de SAFC con variable de diversidad botánica y efecto aleatorio de categoría de altitud. Previo a estos análisis se validaron los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas. Se ajustaron rectas de regresión para cada grupo y coeficiente de determinación (R^2).

Seguridad alimentaria

Se realizó un análisis exploratorio a partir de los siete nutrientes importantes para el ser humano, que juntos forman una dieta nutritiva: (1) proteínas; (2) carbohidratos; (3) vitamina A; (4) vitamina C; (5) hierro; (6) zinc y (7) ácido fólico (FAO 2001). En tal sentido, para ser suficiente en estos nutrientes esenciales, una familia tendría que consumir al menos cinco diferentes especies de plantas, es decir, cinco especies que pertenezcan a los diferentes grupos nutricionales que juntos hacen una dieta nutritiva (DeClerck *et al.* 2011). Conforme a la metodología propuesta por (DeClerck *et al.* 2011) y Sáenz Tijerino (2013), a cada familia se le aplicó una encuesta semiestructurada que permitió identificar los nutrientes que aportan los SAFC a la seguridad alimentaria. Para identificar nutrientes en cada producto agroforestal, se completó una búsqueda sistemática de artículos científicos, boletines técnicos y metabuscadores científicos especializados.

En la Figura 2 se pueden observar algunas imágenes sobre el proceso de recolección de datos.



Figura 2. Recolección de datos en sistemas agroforestales de café en República Dominicana. A. Delimitación de parcela de medición. B. Encuestas a caficultores. C. Diversificación con frutales. Fotos: Y. Tapia

Análisis de datos

Se realizó un análisis de varianza con modelos lineales generales y mixtos (Bates *et al.* 2011), con el tipo de SAFC como efecto fijo y categoría de altitud como efecto aleatorio. Se utilizó la prueba de diferencias menos significativa (LSD) Fisher para la comparación de medias. Se evaluaron gráficos de residuos y valores predichos, siempre que las variables no cumplieran con el supuesto de varianzas homogéneas se corrieron modelos con varianzas heterogéneas, declarando una función de variaciones independientes para cada tipo de SAFC. También se realizaron análisis de tablas de contingencias para evaluar las variables cualitativas, además de modelos generalizados con Poisson, para las variables cuantitativas como conteo de especies; todos estos análisis se realizaron utilizando el paquete estadístico InfoStat (Di Rienzo *et al.* 2014). Con datos obtenidos en campo sobre cuantificación de especies, se realizó una curva de acumulación de especies por tipo de SAFC, utilizando el *software* EstimateS de ecología cuantitativa (Colwell 2014).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Estructura, manejo y rendimientos agroforestales

Composición botánica: riqueza y diversidad de especies

Se identificaron un total de 58 especies de plantas, con visibles diferencias entre las tipologías de cafetales con la riqueza presente de especies de plantas del dosel de sombra. Con un esfuerzo de muestreo de 10 fincas por tipo de SAFC, no se logró estabilizar las curvas de acumulación de especies; sin embargo, se pudo apreciar que los que acumularon mayor número de especies fueron las tipologías C2, C1, C4 y C3 (Figura 3).

Todos los tipos de cafetales estaban dominados notoriamente por árboles de uso frutal, seguidos de árboles de servicio y maderables (Figura 4). Las especies más abundantes en los SAFC estudiados fueron *Musa sapientum* (77,66% de la abundancia relativa de individuos totales), *Inga vera* (9,67%), *Citrus sinensis* (3,03%), *Persea americana* (2,09%) y *Erythrina poeppigiana* (1,24%); además de algunos maderables como *Cedrea odorata* y *Cordia alliodora*, lo que coincide con reportes nacionales como el de Toral (2020). En otros países como Costa Rica, los agricultores también prefieren los árboles frutales para enriquecer su sistema productivo, debido a los ingresos que proporcionan las frutas a corto y mediano plazo (Albertin y Nair 2004, CEPAL 2019). Al tener esa tendencia, los árboles frutales que generalmente tienen copas densas y ocupan el estrato medio en el dosel, merecerían un mejor manejo en cuanto a podas para no afectar negativamente la productividad de los cafetos.

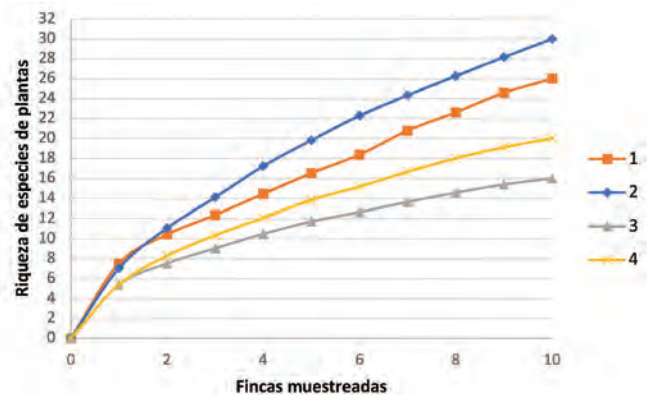


Figura 3. Curva de acumulación de especies de plantas en el dosel de sombra de sistemas agroforestales de café en República Dominicana.

C1: tamaño pequeño-moderado, alta densidad de frutales y plantas de café. C2: tamaño pequeño, alta densidad de árboles de servicio y maderables. C3: tamaño pequeño-moderado, alta densidad de dosel de sombra y de bananos. C4: tamaño pequeño-moderado, alta densidad de árboles maderables y plantas de café.

La densidad de plantas de café ha^{-1} fue baja (3500 plantas ha^{-1} en promedio) en comparación con otros cafetales de Centroamérica y América del Sur. En Costa Rica, por ejemplo, la densidad de siembra promedio es de 5000 plantas de café ha^{-1} (Cerda *et al.* 2017). En cuanto al dosel de sombra, la mayor densidad de plantas fue la de banano (301-738 plantas ha^{-1} , siendo el tipo de SAFC C3 el de mayor densidad de bananos y el CI de mayor densidad de otros frutales). Las densidades del dosel de sombra fueron las más altas en los SAFC, pues se alcanzaron hasta 853 árboles ha^{-1} (y otras plantas, incluyendo musáceas) en comparación con los cafetales de Centroamérica. Por otra parte, la presencia de árboles maderables sólo se dio en el 38% de los SAFC estudiados y de maderables con DAP >30 cm en el 20% (Cuadro 2).

La densidad de dosel de sombra en Nicaragua es en promedio de 549 árboles ha^{-1} (Pinoargote *et al.* 2017), en Costa Rica de 392 árboles ha^{-1} en SAFC con baja diversificación y de 695 árboles ha^{-1} en SAFC con alta diversificación (Cerda *et al.* 2017). En general, se notó un exceso de sombra de 69% en los SAFC estudiados en cafetales de aproximadamente cinco años, siendo el tipo C3 el más denso con 76%, lo que está relacionado con altas densidades y, a su vez, puede estar relacionado con la baja producción, además de beneficiar ciertas plagas y patógenos (Villareyna Acuña 2016).

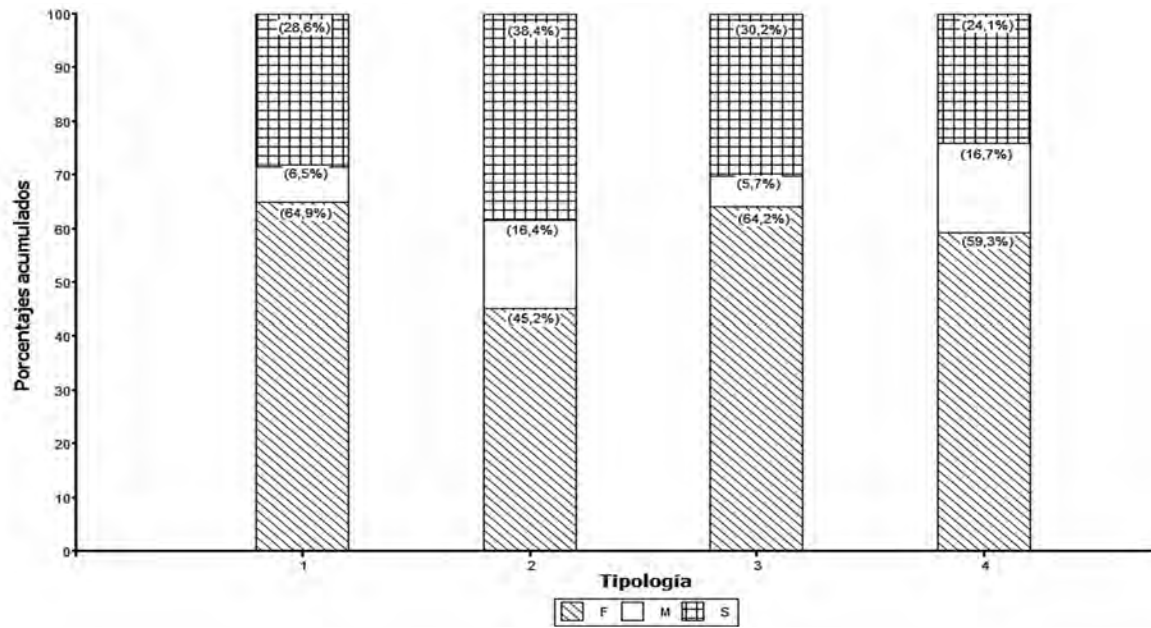


Figura 4. Especies de plantas según su uso principal en sistemas agroforestales de café en República Dominicana. F frutas, M madera y S árboles de servicio.

C1: tamaño pequeño-moderado, alta densidad de frutales y plantas de café. C2: tamaño pequeño, alta densidad de árboles de servicio y maderables. C3: tamaño pequeño-moderado, alta densidad de dosel de sombra y de bananos. C4: tamaño pequeño-moderado, alta densidad de árboles maderables y plantas de café.

Cuadro 2. Estructura de cuatro tipos de sistemas agroforestales de café en República Dominicana

Variable	Tipo de SAFC				F	P
	C1	C2	C3	C4		
	Media ± E.E	Media ± E.E	Media ± E.E	Media ± E.E		
Área SAFC (ha)	5,33 ± 5,80	7,04 ± 5,80	5,87 ± 5,80	16,82 ± 5,80	0,67	0,5774
Densidad plantas de café ^a	3732,00 ± 174,94	3418,00 ± 131,88	3366,00 ± 125,85	3731,00 ± 174,78	1,67	0,1916
Densidad de frutales ^a	75,00 ± 12,49a	43,00 ± 6,33b	37,00 ± 8,83b	34,00 ± 5,81b	4,63	0,0079
Densidad plantas de banano ^a	450,00 ± 65,83	301,00 ± 76,28	738,00 ± 169,95	417,00 ± 105,37	2,04	0,1257
Densidad árboles de leña (servicio) ^a	56,00 ± 7,48	93,00 ± 12,30	84,44 ± 12,26	75,00 ± 12,41	2,02	0,1293
Densidad de maderables ^a	26,67 ± 12,02	34,00 ± 8,72	25,00 ± 15,00	34,00 ± 11,22	na	na
Densidad MDAP30 ^a	1,00 ± 0,00	3,67 ± 1,20	1,00 ± 0,00	2,67 ± 0,88	na	na
Densidad dosel ^a	539,00 ± 83,85	412,00 ± 86,55	853,00 ± 168,43	534,00 ± 110,69	1,88	0,1510
AB frutales (m ² ha ⁻¹)	3,64 ± 0,25a	1,72 ± 0,17b	1,67 ± 0,12b	1,16 ± 0,27b	20,33	<0,0001
AB árboles de servicio (m ² ha ⁻¹)	10,52 ± 2,27	9,76 ± 1,44	11,03 ± 1,64	8,03 ± 1,65	1,81	0,1633
AB maderables (m ² ha ⁻¹)	6,20 ± 5,23	20,86 ± 14,20	10,10 ± 9,80	3,16 ± 1,99	na	na
ABM30 (m ² ha ⁻¹)	0,49 ± 0,00	0,42 ± 0,11	1,99 ± 0,00	0,54 ± 0,28	na	na
AB dosel (m ² ha ⁻¹)	19,34 ± 1,23a	19,75 ± 1,64a	7,23 ± 1,23b	7,81 ± 1,02b	30,59	<0,0001

Letras diferentes dentro de una fila indican diferencias significativas entre tipos de SAFC (LSD Fisher, $p < 0,05$); na no aplica

^a Densidad en individuos por hectárea. ^b Densidad total de plantas leñosas incluyendo el café

FR frecuencia relativa; AB área basal; Densidad MDAP30, número de árboles maderables con DAP > 30 cm por hectárea; ABM30 área basal de árboles maderables con DAP > 30 cm

C1: tamaño pequeño-moderado, alta densidad de frutales y plantas de café. C2: tamaño pequeño, alta densidad de árboles de servicio y maderables. C3: tamaño pequeño-moderado, alta densidad de dosel de sombra y de bananos. C4: tamaño pequeño-moderado, alta densidad de árboles maderables y plantas de café.

Manejo de los SAFC

Las frecuencias de prácticas de manejo en los SAFC en general fueron bajas, mientras que, en otros lugares de Latinoamérica, el manejo es mucho más intenso (Jezeer *et al.* 2018). En los SAFC estudiados: (1) los caficultores realizaron entre una y dos aplicaciones de fertilizantes al año; sin embargo, fueron aplicaciones de bajas dosis; (2) sólo un 10% (tipo C2) hizo enmiendas (v.g.: encalado); (3) el tipo C4 mostró mayor número de fincas en aplicar fungicidas respecto al resto de SAFC, pero solo una aplicación al año, también con (4) aplicación de insecticidas, donde apenas el 30 % hizo control de insectos y (5) aplicación de herbicidas. Estos resultados evidencian que los SAFC del tipo C4 hacen gran uso de agroquímicos; y a

pesar de esto, la frecuencia de prácticas en general sigue siendo baja (Cuadro 3). Por otra parte, (6) el control de maleza manual se realizó, por lo general, dos veces al año; (7) el 90 % de las fincas realizaron poda en el dosel de sombra, sin embargo, la sombra sigue siendo densa, quizás no hacen poda apropiada y (8) sólo un 57% de los caficultores hicieron manejo de tejidos (poda de café), concentrados en los tipos C1 y C4. Cabe resaltar que la mayor inversión por parte de los caficultores dominicanos en el manejo de sus fincas se ve reflejada en la mano de obra contratada (Cuadro 4), lo que además coincide con estudios nacionales donde, para el productor familiar tradicional estos gastos constituyen el 91,8 % (Jiménez *et al.* 2008, CEPAL 2019).

Cuadro 3. Frecuencias absolutas de prácticas de manejo por año en tipos de sistemas agroforestales de café en República Dominicana

Variables Prácticas de manejo	Frecuencia absoluta	Tipos de SAFC				P valor	Interpretación
		C1	C2	C3	C4		
Fungicidas (aplic ⁻¹ año ⁻¹)	0	8	7	8	2	0,0144	Asociado
	1	2	3	2	8		
Herbicidas (aplic ⁻¹ año ⁻¹)	0	8	8	8	3	0,0360	Asociado
	1	2	2	2	7		
Control de malezas manual (año ⁻¹)	1	1	3	0	5	0,0374	Asociado
	2	9	7	10	5		

P valor corresponde al Chi Cuadrado de Pearson para un análisis de correspondencia múltiple entre las variables categóricas “prácticas de manejo” y “tipo de SAFC” (máximo verosimilitud). *Interpretación* asociación entre las variables categóricas “prácticas de manejo” y “tipo de SAFC”, de acuerdo con el p valor ($p < 0,05$ para las variables asociadas al tipo de SAFC). C1: tamaño pequeño-moderado, alta densidad de frutales y plantas de café. C2: tamaño pequeño, alta densidad de árboles de servicio y maderables. C3: tamaño pequeño-moderado, alta densidad de dosel de sombra y de bananos. C4: tamaño pequeño-moderado, alta densidad de árboles maderables y plantas de café

Cuadro 4. Costos de mano de obra e insumos de prácticas de manejo en sistemas agroforestales de café en República Dominicana

Variables	Tipo de SAFC				FR	F	P VALOR
	C1	C2	C3	C4			
	Media ± E.E	Media ± E.E	Media ± E.E	Media ± E.E			
Mano de obra familiar (US\$ ha ⁻¹ año ⁻¹)	42,34 ± 30,12	94,78 ± 66,66	35,25 ± 13,90	42,37 ± 0,00	0,30	na	na
Mano de obra contratada (US\$ ha ⁻¹ año ⁻¹)	384,66 ± 88,82a	195,23 ± 57,66c	308,78 ± 67,84ab	207,66 ± 60,22bc	na	2,99	0,0439
Insumos (US\$ ha ⁻¹ año ⁻¹)	45,13 ± 16,48d	73,40 ± 13,95c	169,19 ± 20,10b	343,57 ± 20,17a	na	90,26	<0,0001

Letras diferentes dentro de una fila indican diferencias significativas entre tipos de SAFC (LSD Fisher, $p < 0,05$). E.E error estándar; FR frecuencia relativa; na no aplica. C1: tamaño pequeño-moderado, alta densidad de frutales y plantas de café. C2: tamaño pequeño, alta densidad de árboles de servicio y maderables. C3: tamaño pequeño-moderado, alta densidad de dosel de sombra y de bananos. C4: tamaño pequeño-moderado, alta densidad de árboles maderables y plantas de café

Los resultados obtenidos en este estudio coinciden con los de CEPAL (2019), donde se afirma que generalmente los productores de café dominicanos sólo hacen control de maleza y no fertilizan, dando como resultado niveles de productividad muy bajos. Además, es muy probable que el manejo en SAFC sea muy bajo, debido a bajos precios de café y al ataque de plagas y enfermedades, lo que desmotiva a los caficultores a realizar un manejo eficiente, tal como ha pasado en otros países como Nicaragua (Villareyna Acuña 2014).

Rendimiento de productos agroforestales

El rendimiento de café fue bajo y no superó en promedio los 5 qq pergamino seco $\text{ha}^{-1}\text{año}^{-1}$ en todos los tipos de SAFC estudiados (Cuadro 5). Estos datos coinciden con CEPAL (2019), donde se afirma que la producción de café en República Dominicana está calificada como una actividad productiva deficiente (5,00-6,00 qq de café seco ha^{-1}). El rendimiento del café en este país insular se ve afectado por varios factores tales como plagas y enfermedades (especialmente el ataque de broca y roya del café), a partir del año 2009-2010 (Escarramán *et al.* 2007). Una alternativa a esta situación es la incorporación de variedades mejoradas que permitan mayor tolerancia a plagas y enfermedades y generar mayor productividad. El rendimiento de café en otros países productores como Colombia es de unos 12,84 qq ha^{-1} (FNC 2020); en Nicaragua es de 11,55 qq ha^{-1} (Pinoargote *et al.* 2017). Esto refleja una situación realmente crítica en temas de productividad en los SAFC dominicanos.

Los rendimientos de otros productos de SAFC como bananos, cítricos, aguacate (*P. americana*) y otras frutas mostraron resultados significativos generalmente en el tipo de SAFC *C1*, y por la presencia de otros productos como *Pouteria sapota*, *Theobroma cacao*, *Zea mays*, *Cucurbita pepo*, *Annona muricata*, *Carica papaya* y *Sechium edule* en el tipo de SAFC *C4*. En otro orden, los tubérculos (*Dioscorea alata*, *Xanthosoma sagittifolium*, *Manihot esculenta* y *Arracacia xanthorrhiza*) en los SAFC dominicanos son abundantes, por lo tanto, su rendimiento es valioso. La madera mostró volúmenes en pie de importancia, especialmente en el tipo *C3* (3005,28 $\text{ft}^3 \text{ha}^{-1}$); este resultados corresponde solo al 20% de los SAFC estudiados, debido a que solo estos podrían aprovecharla. No obstante, debido al protocolo riguroso para el aprovechamiento de maderables, su diversificación es poca, resultados que coinciden con Núñez y Cuevas (2004). Sin embargo, la producción de madera en SAFC puede ser una actividad económicamente atractiva; en zonas cafetaleras de Costa Rica se pueden obtener entre

4 y 6 $\text{m}^3 \text{ha}^{-1} \text{año}^{-1}$ (equivalentes a 141 y 212 $\text{ft}^3 \text{ha}^{-1} \text{año}^{-1}$), solo de *Cordia alliodora* (Detlefsen y Somarriba 2015).

De acuerdo a los productores entrevistados, en SAFC dominicanos se generaron pérdidas. El 95% de los caficultores expresaron que, generalmente, las pérdidas se han dado por plagas, especialmente en el café (v.g.: broca (*Hypothenemus hampei*)), el 87% indicaron eventos climáticos (v.g.: sequía y exceso de lluvia), mientras que el 45% señalaron que las enfermedades y la mano de obra deficiente constituyeron un factor importante en las pérdidas de los productos en los SAFC.

Contribución de SAFC a los medios de vida de las familias –indicadores socioeconómicos y seguridad alimentaria

Indicadores socioeconómicos

Los indicadores socioeconómicos registraron, en promedio, números positivos. Los indicadores ingreso neto (IN) y flujo de efectivo (FE) fueron de los más importantes, para los cuales el 82,5 % de los SAFC mostraron valores positivos y un 17,5 % negativos. El mayor IN se dio en el tipo *C4* (US\$1128,27 $\text{ha}^{-1} \text{año}^{-1}$), seguido de *C1* (US\$836,74 $\text{ha}^{-1} \text{año}^{-1}$). Los IN negativos fueron causados por altos costos en efectivo (CEF), debido, principalmente, al costo de la mano de obra contratada. Se esperaba que los SAFC con mayores rendimientos de café tuvieran mayor flujo de efectivo (tipo *C1* y *C4*). Respecto al valor de autoconsumo (VA) (p valor 0,0161), el tipo *C1* registró el mayor VA (US\$ 819,57 $\text{ha}^{-1} \text{año}^{-1}$), que fue al menos cinco veces mayor que el *C4* y al menos dos veces mayor que los otros tipos de SAFC (Cuadro 6).

En general, se puede decir que los tipos de SAFC *C4* y *C1* mostraron una tendencia hacia indicadores socioeconómicos más altos. ¿Es posible que los productos agroforestales compensen los bajos rendimientos del café para los beneficios familiares e ingresos en efectivo? En términos generales del BF, la respuesta fue sí. Los productos agroforestales podrían compensar los ingresos actuales del café por causa del valor de autoconsumo (VA) que implica este indicador. Sin embargo, en cuanto al FE, es difícil, debido a los altos costos en efectivo (CE) que señala este indicador. La contribución de los SAFC a los indicadores socioeconómicos no es alta, debido a los bajos rendimientos del café, sin embargo, contribuye a los medios de vida de las familias. Comparando la contribución de los SAFC estudiados en otros países de Centroamérica como Costa Rica y Nicaragua (US\$ 2406,25 ha^{-1}), todavía es baja (Cerda *et al.* 2014, Cerda *et al.* 2017, Pinoargote *et al.* 2017), por

Cuadro 5. Rendimientos de los principales productos agroforestales en los tipos de sistemas agroforestales de café en República Dominicana

Producto agroforestal	Variable	C1 Media ± E.E	C2 Media ± E.E	C3 Media ± E.E	C4 Media ± E.E	FR	F	P VALOR	R.D Media ± E.E
Café	%PFC	100	100	100	100				100
	qq pergamino seco ha ⁻¹ año ⁻¹	2,08 ± 0,52b	2,44 ± 0,35b	1,71 ± 0,39b	4,95 ± 0,90 ^a	na	3,75	0,0195	6,33 ± 1,21
Banano	%PFC	100	100	100	100				100
	racimos ha ⁻¹ año ⁻¹	169,97 ± 49,80	93,60 ± 37,69	335,39 ± 163,50	70,48 ± 16,53	na	0,95	0,4271	167,36 ± 45,38
Cítricos	%PFC	100	80	80	70				83
	unidades ha ⁻¹ año ⁻¹	5278,72 ± 2272,47 ^a	1971,50 ± 1536,04b	1154,54 ± 440,48b	1135,55 ± 418,36b	na	3,74	0,0224	2598,31 ± 826,73
Aguacate	%PFC	90	80	40	40				63
	unidades ha ⁻¹ año ⁻¹	2123,00 ± 554,03 ^a	722,92 ± 422,50b	579,50 ± 525,70b	584,92 ± 394,60b	na	3,42	0,0372	1170,06 ± 252,92
Tubérculos	%PFC	40	30	40	10				30
	qq ha ⁻¹ año ⁻¹	36,32 ± 19,37	2,16 ± 1,59	7,62 ± 6,60	0,53 ± 0,00	0,30	na	na	15,23 ± 7,68
Otras frutas	%PFC	50	10	10	20				23
	unidades ha ⁻¹ año ⁻¹	2373,30 ± 1429,45	958,47 ± 0,00	2000,00 ± 0,00	3019,61 ± 2313,73	0,23	na	na	2318,24 ± 870,21
Otros productos	%PFC	20	40	20	10				23
	qq ha ⁻¹ año ⁻¹	5,15 ± 3,95	2,81 ± 1,55	2,40 ± 0,80	49,92 ± 0,00	0,25	na	na	8,14 ± 4,80
Madera	%PFC	30	50	10	30				30
	VMP30 (ft ³ ha ⁻¹)	1801,05 ± 0,00	2463,79 ± 1619,42	3005,28 ± 0,00	2729,82 ± 2106,93	0,20	na	na	2548,40 ± 878,90

Ft³=0,0283168 m³, qq=quintal

Letras diferentes dentro de una fila indican diferencias significativas entre tipos de SAFC (LSD Fisher, $p < 0,05$); *na* no aplica E.E error estándar; *FR* frecuencia relativa; *RD* República Dominicana (40 SAFC), %PFC porcentaje de fincas que cosechan el producto en 2019, *VMP30* volumen de la madera en pie de árboles con DAP >30 cm; *Cítricos* la suma de unidades de fruta de *Citrus sinensis* Osbeck, *Citrus reticulata* Blanco., *Citrus paradisi* Macfad y *Citrus aurantifolia* (Christm.) Swingle; *Tubérculos* la suma de quintales de *Dioscorea alata* L., *Xanthosoma sagittifolium* L., *Manihot esculenta* Crantz y *Arracacia xanthorrhiza* Bancr; *Otras frutas* la suma de unidades de fruta de *Mangifera indica* L., *Psidium guajava* L., *Passiflora edulis* Sims y *Ananas comosus* L. (estas dos últimas se encuentran en un área específica y el perímetro del SAFC); *Otros productos* la suma de quintales de frutos de *Pouteria sapota* (Jacq.) H.E. Moore & Stearn, *Theobroma cacao* L., *Zea mays* L., *Cucurbita pepo* L., *Annona muricata* L., *Carica papaya* L. y *Sechium edule* (Jacq.) Sw.

C1: tamaño pequeño-moderado, alta densidad de frutales y plantas de café. *C2*: tamaño pequeño, alta densidad de árboles de servicio y maderables. *C3*: tamaño pequeño-moderado, alta densidad de dosel de sombra y de bananos. *C4*: tamaño pequeño-moderado, alta densidad de árboles maderables y plantas de café.

lo que es preciso tomar en cuenta oportunidades de mejora en los cafetales dominicanos.

El flujo de efectivo en el tipo de SAFC C3 (US\$462,40 ha⁻¹) es bajo en comparación con el resto; este tipo de SAFC es el menos diverso de todos, por consiguiente, casi solo se obtienen ingresos del café y el banano. Muchos caficultores dominicanos apuestan a la asocia-

ción del cultivo de café con el banano; en ese sentido, una alternativa para generar un flujo de efectivo significativo en este tipo de sistemas es mejorar la estructura y manejo de SAFC, además de seleccionar un área del cafetal con dominio de banano y, en otros lugares de la finca, que haya una menor densidad de estos y una mayor diversificación con otros productos agroforestales (incluyendo frutales y árboles de servicio).

Cuadro 6. Valores de los indicadores socioeconómicos en los tipos de sistemas agroforestales de café en República Dominicana

Indicadores socioeconómicos ^a	Tipos de SAFC				FR	F	P
	<i>C1</i> Media ± E.E	<i>C2</i> Media ± E.E	<i>C3</i> Media ± E.E	<i>C4</i> Media ± E.E			
IB (US\$ ha ⁻¹ año ⁻¹)	1958,78 ± 319,46	1219,12 ± 304,59	1173,24 ± 268,20	1568,70 ± 297,08	na	1,45	0,2458
IN (US\$ ha ⁻¹ año ⁻¹)	836,74 ± 519,64	466,98 ± 412,17	455,35 ± 197,08	1128,27 ± 561,43	na	0,55	0,6770
FE (US\$ ha ⁻¹ año ⁻¹)	857,91 ± 525,01	504,90 ± 411,70	462,40 ± 194,89	1132,51 ± 559,30	na	0,55	0,6767
VA (US\$ ha ⁻¹ año ⁻¹)	819,57 ± 260,02a	343,91 ± 156,41ab	318,22 ± 156,41b	128,15 ± 49,19b	na	3,93	0,0161
BF (US\$ ha ⁻¹ año ⁻¹)	1655,51 ± 529,21	884,31 ± 196,36	777,02 ± 280,59	1077,47 ± 206,92	na	0,87	0,5267
CEF (US\$ ha ⁻¹ año ⁻¹)	1247,16 ± 339,29	1129,72 ± 389,34	882,69 ± 174,66	947,41 ± 214,03	na	0,04	0,9900
CE (US\$ ha ⁻¹ año ⁻¹)	42,34 ± 30,12	94,78 ± 66,66	35,25 ± 13,90	42,37 ± 0,00	0,30	na	na
MP valor (US\$ ha ⁻¹)	1674,98 ± 0,00	2291,32 ± 1506,06	2794,91 ± 0,00	2538,74 ± 1959,45	0,20	na	na

Letras diferentes dentro de una fila indican diferencias significativas entre tipos de SAFC (LSD Fisher, $p < 0,05$)

IB: ingresos brutos, IN: ingresos netos, FE: flujo de efectivo, VA: valor de autoconsumo, BF: beneficio familiar, CEF: costos en efectivo, CE: costos en especie, DLF: número de días laborales invertidos por miembros de la familia, BFDL: beneficio de la familia por día laboral, MP: valor de la madera en pie, na: no aplica.

^aIndicadores socioeconómicos: suma de las contribuciones de café, banano y frutas.

C1: tamaño pequeño-moderado, alta densidad de frutales y plantas de café. *C2*: tamaño pequeño, alta densidad de árboles de servicio y maderables. *C3*: tamaño pequeño-moderado, alta densidad de dosel de sombra y de bananos. *C4*: tamaño pequeño-moderado, alta densidad de árboles maderables y plantas de café.

Seguridad alimentaria

Se encontraron 23 productos agroforestales destinados al autoconsumo de las familias. Los productos agroforestales que hacen mayor aporte a la seguridad alimentaria, debido a las siete propiedades nutricionales indicadas anteriormente, fueron *C. sinensis* y *C. papaya*. Por otro lado, se evidencia que el grupo nutricional menos común en los productos agroforestales fue el ácido fólico el cual estuvo presente solo en el 13% (*C. annum*, *C. sinensis* y *C. papaya*) de los productos de consumo interno de las familias. Sin embargo, la mayoría de los grupos nutricionales estuvieron presentes en todos o en gran parte de los productos (Cuadro 7).

Un estudio realizado en Ecuador (Ponce Vaca *et al.* 2018), mostró que al menos un 50% de la población rural sufre pobreza o déficit nutricional y que los sistemas agroforestales cafetaleros (sobre todo aquellos asociados con frutales, productos de ciclo corto como el maíz, tubérculos, frijol, entre otros), generaron aportes importantes a la seguridad agroalimentaria y nutricional. En ese sentido, pequeños agricultores dedicados a la agrosilvicultura y a la diversificación de cultivos aportan considerablemente a la seguridad alimentaria en comparación con aquellos sistemas productivos en monocultivo (Sibelet y Montzieux 2012, Cabahug *et al.* 2018).

Relación de los indicadores socioeconómicos con diversidad botánica

Flujo de efectivo (FE)

Las relaciones encontradas entre indicadores socioeconómicos y diversidad botánica dependen del tipo de SAFC. Los resultados mostraron una relación significativa entre FE y AB de dosel (p valor 0,0215) e interacción significativa entre índice recíproco de Simpson y tipo de SAFC (p valor 0,0260); indicando que existe una relación lineal positiva en *C1* para el recíproco de Simpson; además, se observa una relación lineal positiva en el tipo *C4* para AB de dosel (Figura 5). La riqueza de especies y densidad de dosel no registraron relación significativa con los indicadores socioeconómicos.

Valor de autoconsumo (VA)

El estudio mostró una relación significativa entre VA y riqueza de especies (p valor $< 0,0001$), y entre VA y densidad de dosel (p valor 0,0026). La relación lineal positiva en *C1* para riqueza de especies, *C1* y *C2* para densidad de dosel, fueron las más evidentes. Tanto el índice recíproco de Simpson como AB dosel no obtuvieron valores significativos. Para la variable AB dosel, se obtuvo relación significativa y positiva (p valor 0,0001) solo en el caso del *C3*, es decir que, a medida que aumenta el AB dosel, aumenta el VA para ese tipo de sistema (Figura 6).

Cuadro 7. Productos agroforestales de autoconsumo en sistemas agroforestales de café dominicanos y nutrientes que aportan a la seguridad alimentaria de las familias

Producto agroforestal	Proteínas	Carbohidratos	Vitamina A	Vitamina C	Hierro	Zinc	Ácido fólico	Referencias
<i>Persea americana</i> Mill	X	X	X	X	X	X		(Gargi 2019)
<i>Capsicum annuum</i> L.	X	X	X	X			X	(Litoriya <i>et al.</i> 2014)
<i>Cucurbita pepo</i> L.	X	X	X	X	X	X		(Gent <i>et al.</i> 2005)
<i>Musa sapientum</i> L.	X	X	X	X	X			(Blasco López y Montaña 2015) (Adeolu y Enesi 2013)
<i>Solanum torvum</i>	X	X	X	X	X			(García <i>et al.</i> 2003)
<i>Annona muricata</i> L.	X	X		X	X	X		(Fernández <i>et al.</i> 2010) (León Méndez <i>et al.</i> 2016)
<i>Cajanus cajan</i> L.	X	X	X	X	X			(Navarro <i>et al.</i> 2014)
<i>Psidium guajava</i> L.	X	X	X	X	X	X		(Rosario y Rojas 2017)
<i>Citrus aurantifolia</i> (Christm.) Swingle	X	X	X	X	X	X		(Enejoh <i>et al.</i> 2015)
<i>Macadamia integrifolia</i> Maiden & Betche	X	X		X	X	X		(Mereles <i>et al.</i> 2017)
<i>Zea mays</i> L.	X	X	X	X	X	X		(Siyuan <i>et al.</i> 2018)
<i>Citrus reticulata</i> Blanco.	X	X	X	X	X	X		(Putnik <i>et al.</i> 2017)
<i>Mangifera indica</i> L.	X	X	X	X	X	X		(Lauricella <i>et al.</i> 2017)
<i>Passiflora edulis</i> Sims	X	X	X	X	X			(Chaparro Rojas <i>et al.</i> 2015)
<i>Citrus sinensis</i> Osbeck	X	X	X	X	X	X	X	(Etebu y Nwauzoma 2014)
<i>Dioscorea alata</i> L.	X	X		X	X	X		(Njoh Ellong <i>et al.</i> 2015) (Wanasundera y Ravindran 1992)
<i>Carica papaya</i> L.	X	X	X	X	X	X	X	(Vyas y Shah 2016) (Ali <i>et al.</i> 2012)
<i>Arracacia xanthorrhiza</i> Bancr	X	X	X		X			(EFSA Panel on Dietetic Products y Allergies 2015)
<i>Sechium edule</i> (Jacq.) Sw	X	X	X		X			(Frías Tamayo <i>et al.</i> 2016)
<i>Citrus paradisi</i> Macfad	X	X	X	X	X	X		(Kolawole <i>et al.</i> 2017)
<i>Xanthosoma sagittifolium</i> L.	X	X	X	X	X	X		(Boakye <i>et al.</i> 2018)
<i>Manihot esculenta</i> Crantz	X	X	X	X	X	X		(Salvador <i>et al.</i> 2014)
<i>Pouteria sapota</i> (Jacq.) H.E. Moore & Stearn	X	X	X	X	X			(Bernardino-Nicanor <i>et al.</i> 2014)
Total general	23	23	20	21	22	15	3	
Porcentaje	100	100	87	91	96	6	13	

X presencia de nutrientes (proteínas, carbohidratos, vitamina A, vitamina C, hierro, zinc y ácido fólico) en cada producto agroforestal consumido por las familias

Porcentaje de productos agroforestales que aportan cada nutriente esencial

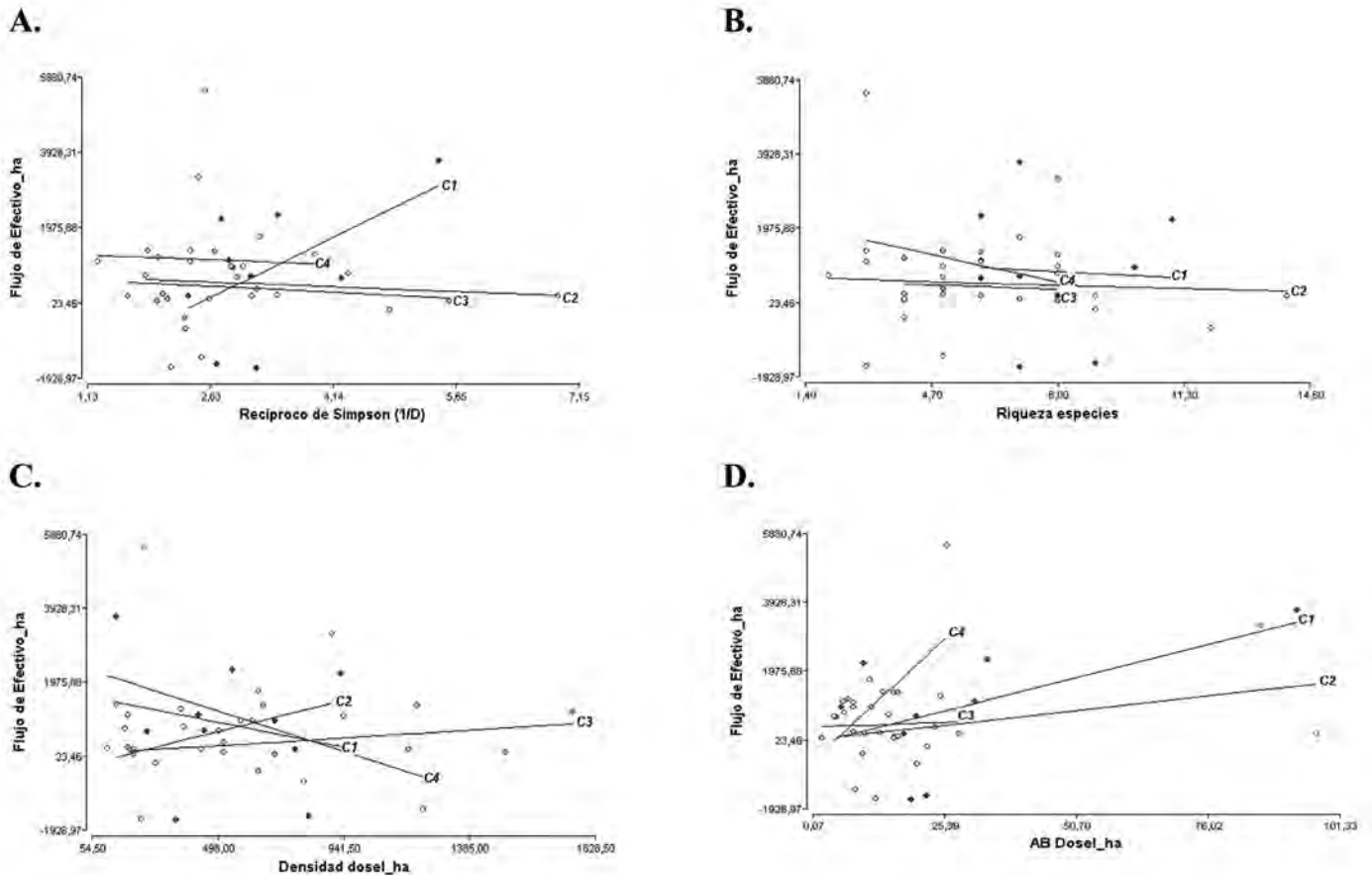


Figura 5. Relaciones entre flujo de efectivo y variables de diversidad botánica en sistemas agroforestales de café en República Dominicana. A. Índice recíproco de Simpson (1/D), B. Riqueza de especies arbóreas, C. Densidad dosel y D. Área basal dosel

C1: tamaño pequeño-moderado, alta densidad de frutales y plantas de café. C2: tamaño pequeño, alta densidad de árboles de servicio y maderables. C3: tamaño pequeño-moderado, alta densidad de dosel de sombra y de bananos. C4: tamaño pequeño-moderado, alta densidad de árboles maderables y plantas de café.

Cuando se trató de comparar las relaciones entre indicadores socioeconómicos y diversidad botánica someramente, no arrojaron resultados significativos; sin embargo, al hacer los análisis correspondientes sí. En algunos tipos de SAFC, estas relaciones resultaron positivas, lo cual indica que es valioso manejar una riqueza de especies que pueda ser útil para las familias, que manejar diversidad de especies que no brinden aportes. Relaciones entre estas variables concuerdan con un estudio realizado en Jamaica, donde el dosel de sombra, especialmente los árboles frutales, contribuyeron con US\$100,00 o más, representando más del 90% de los ingresos de frutas (Davis *et al.* 2019). Esta investigación señala la importancia de la riqueza de especies en un SAFC, al igual que otro estudio realizado en Brasil, donde se constató que la riqueza de especies en SAFC está relacionada positivamente con los ingresos, principalmente con los ingresos no monetarios (Cardozo *et al.* 2015).

Vulnerabilidad de la caficultura dominicana frente al cambio climático

En general, todos los SAFC resultaron ser vulnerables al cambio climático y presentaron una baja capacidad adaptativa, lo que genera una preocupación para el sector cafetalero dominicano. Este estudio mostró que el 60% de los SAFC se encontraron bajo la categoría cinco “vulnerabilidad y capacidad adaptativa medianamente críticas”; el 27,5% en la categoría cuatro “vulnerabilidad y capacidad adaptativa regular”; el 7,5% en la categoría tres “vulnerabilidad y capacidad adaptativa moderada” y el 5% en la categoría seis “vulnerabilidad y capacidad adaptativa crítica”. Ninguno de los SAFC evaluados registró una “baja vulnerabilidad y alta capacidad adaptativa” al cambio climático. En el Cuadro 8 se muestra el porcentaje de fincas que fueron afectadas por factores críticos relacionados con el cambio climático.

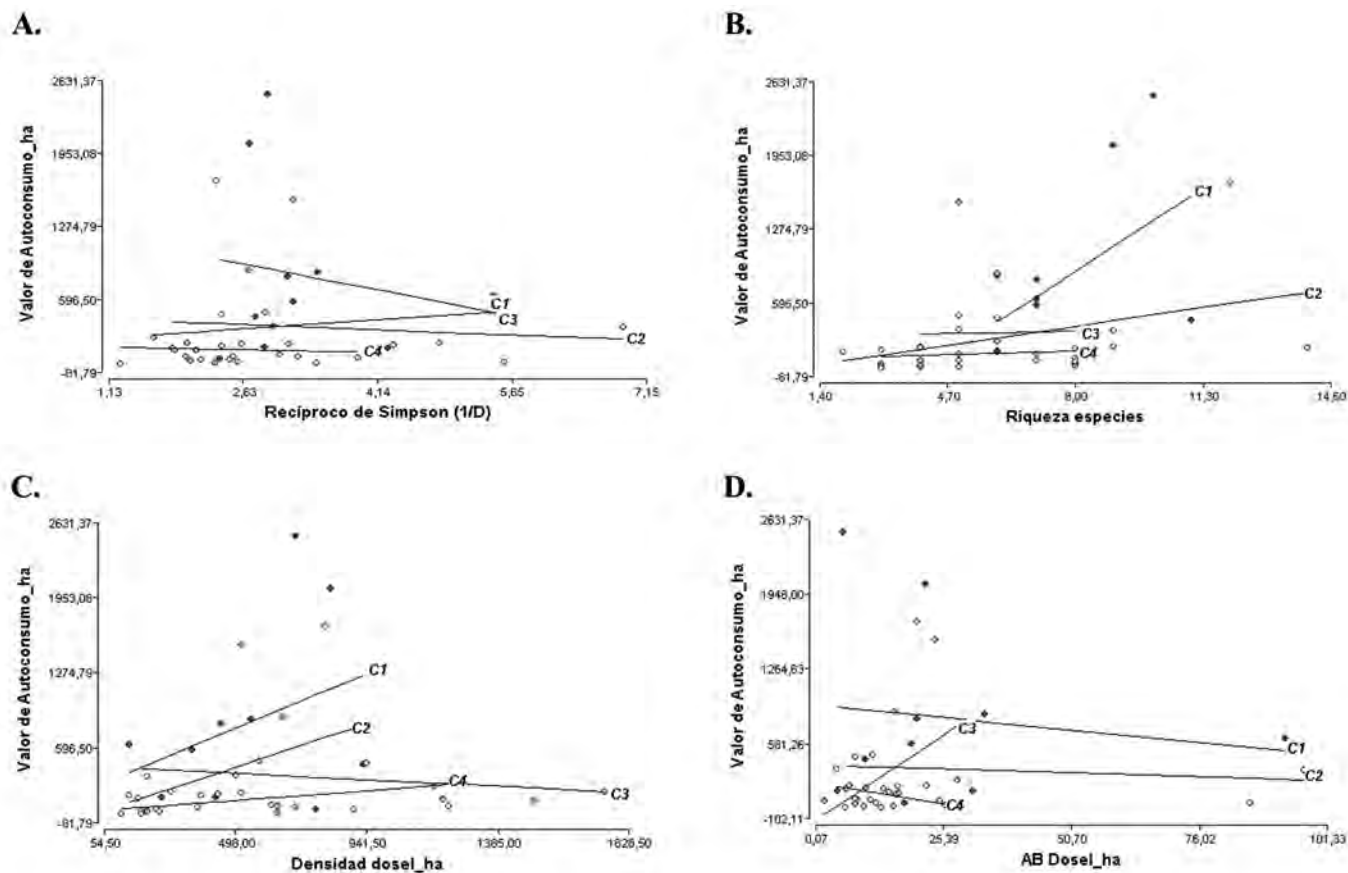


Figura 6. Relaciones entre valor de autoconsumo y variables de diversidad botánica en cuatro tipos de sistemas agroforestales de café en República Dominicana. A. Índice recíproco de Simpson (1/D), B. Riqueza de especies arbóreas, C. Densidad dosel y D. Área basal dosel,

C1: tamaño pequeño-moderado, alta densidad de frutales y plantas de café. C2: tamaño pequeño, alta densidad de árboles de servicio y maderables. C3: tamaño pequeño-moderado, alta densidad de dosel de sombra y de bananos. C4: tamaño pequeño-moderado, alta densidad de árboles maderables y plantas de café.

La vulnerabilidad y capacidad adaptativa medianamente crítica está relacionada con cambios bruscos de temperatura, presencia del riesgo climático asociado a sequías en la mayoría de los casos y lluvias esporádicas, además de que el riesgo en República Dominicana es mayor por su condición de isla. Según el Global Climate Risk Index Report 2018, el país se encuentra en el lugar número 11 a nivel mundial en el índice de riesgo climático, lo que constituye una situación alarmante (Escarramán 2020).

Como resultado de este estudio, se puede deducir que la riqueza de especies, además de su aporte a indicadores socioeconómicos, puede contribuir a la capacidad adaptativa frente al cambio climático. Características como la diversidad de especies arbóreas que posee el tipo de SAFC C2, ayudarían a generar una mayor capacidad adaptativa frente al cambio climático en fincas cafetaleras, por el potencial que tienen estos sistemas

de producción de capturar carbono y al usar árboles de sombra adecuadamente (composición, diseño y prácticas de manejo) (Altieri *et al.* 2012; Jacobi *et al.* 2015; Virginio *et al.* 2017).

Hallazgos y su implicación para la caficultura

Este estudio resalta la importancia de incrementar la densidad de dosel de sombra y riqueza de especies útiles en los SAFC. La tipología C1 y C4 fueron los sistemas más promisorios en cafetales y estos pueden servir como guía para optimizarlos. Se recomienda que, para futuros estudios, se consideren mejor los mecanismos que podrían regular las sinergias en SAFC, para así orientar mejoras en estos sistemas de producción. Por otro lado, este trabajo puede ser útil para investigadores interesados en el estudio de la economía de los pequeños caficultores en la región e importancia de los servicios ecosistémicos que ofrecen los cafetales bajo sombra, especialmente para los agricultores de escasos recursos.

Cuadro 8. Aspectos que afectan la vulnerabilidad y capacidad adaptativa frente al cambio climático en sistemas agroforestales de café de República Dominicana

Factores críticos (vulnerabilidad y capacidad adaptativa)	Porcentaje de fincas afectadas			
	SAF C1	SAF C2	SAF C3	SAF C4
	(n= 10)	(n= 10)	(n= 10)	(n= 10)
1. Aumento de temperatura	100	100	100	90
2. Lluvias irregulares	80	50	70	90
3. Inundaciones y derrumbes	10	0	10	40
4. Huracanes y tormentas	20	10	40	10
5. Sequías	90	90	70	90
6. Vientos fuertes incrementados	10	10	20	20
7. Señales de erosión del suelo	30	50	40	40
8. Baja en fertilidad del suelo	90	70	90	90
9. Floración irregular del café	70	60	60	80
10. Caída de flores, frutos. Defoliación	60	20	50	80
11. Plagas y enfermedades del café	60	50	50	90
12. Reducción en producción de café	90	60	70	70
13. Falta de conservación de suelo	100	80	90	100
14. Suelos sin cobertura	0	0	10	10
15. Baja diversificación	20	50	40	40
16. Exceso de sombra o sol	60	70	70	80
17. Cafetales viejos	40	50	70	20
18. Ausencia de variedades mejoradas	10	0	20	20
19. Deficiencia de podas y deshijes de café	60	70	60	30
20. Ausencia de resiembra de café	30	50	20	10
21. Altas dosis de N al cafetal	0	0	20	50
22. Ausencia de abonos orgánicos	40	60	60	50
23. Ausencia de árboles en fuentes de agua	10	10	0	0
24. Otros usos de la finca sin árboles	10	10	0	0
25. Falta de organización para adaptación	100	10	90	100

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Los SAFC en República Dominicana, por lo general, tienen una baja densidad de plantas de café y están dominados por árboles de servicio y frutales en el dosel de sombra. Las musáceas también son un componente importante en todos los SAFC.
- El manejo agronómico y agroforestal de los SAFC dominicanos, en general, no es óptimo y depende de la mano de obra contratada que representa un gasto importante.
- Gran parte de los SAFC dominicanos pertenecen a la categoría “vulnerabilidad y capacidad adaptativa medianamente críticas” frente al cambio climático.
- Los productos que más se extraen de los SAFC dominicanos son café, banano, cítricos y agua-

cate. Sin embargo, los rendimientos son bajos. El café, por ejemplo, apenas alcanza rendimientos de 4,95 qq pergamino seco ha⁻¹ año⁻¹. El uso de maderables no es común debido a limitantes políticas y regulaciones asociadas al aprovechamiento forestal; sin embargo, sí hay potencial para esta opción de ingresos. Las pérdidas de los productos agroforestales generalmente son dadas por plagas, enfermedades, eventos climáticos (sequía, exceso de lluvia) y mano de obra deficiente.

- Todos los tipos SAFC contribuyen de forma similar a los indicadores socioeconómicos. En todos se debería incrementar la mano de obra familiar para reducir el costo de mano de obra contratada y, por tanto, incrementar el flujo de efectivo. Sí hubo

diferencias en el valor de autoconsumo (VA), un sistema que contribuye a ese indicador, como el tipo C1, tendría ventaja sobre los otros al aportar al sustento de las familias, además de la adaptación y reducción de vulnerabilidad frente a la pobreza que embarga las zonas cafetaleras. El beneficio familiar (BF) y el flujo de efectivo (FE) destacan la contribución real del dosel de sombra que, generalmente, no es documentada.

- Los tipos de SAFC más promisorios fueron C1 y C4. Ambos tipos no son modelos óptimos, pero sí promisorios; el tipo C1 es útil como modelo para familias en zonas remotas, en lugar con reducida idoneidad para cultivar café o que les interese la diversificación, mientras que el tipo C4 aplica para familias con un objetivo primordial de generar ingresos en efectivo.
- La relación de indicadores socioeconómicos con la diversidad botánica depende del tipo de SAFC. Esto indica que no se puede generalizar sobre *trade-offs* o sinergias cuando se estudian tipos de café en una determinada zona para generar recomendaciones útiles. Además, es un hallazgo de utilidad porque da la oportunidad de aprender de las relaciones positivas que se encuentren en un determinado tipo y evitar relaciones indeseables.
- A pesar de los grupos de nutrientes que ofrecen seguridad alimentaria en estos SAFC, los rendimientos no son aún suficientes para la estabilidad alimentaria de estas familias. No obstante, la contribución de los SAFC refleja el potencial del cafetal para albergar especies que brinden seguridad alimentaria a las familias productoras.

Con base en los hallazgos, se sugieren las siguientes recomendaciones para la caficultura dominicana:

- Continuar con trabajos de mejorar el manejo agronómico e incrementar esfuerzos para mejorar el diseño y manejo agroforestal, especialmente de árboles de servicio y frutales. Con ello se permitiría equilibrar la entrada de luz e incrementar la entrada de biomasa a los sistemas.
- Uso de sombra bien diversificada, considerando las prácticas agroforestales para reducir la vulnerabilidad y aumentar la capacidad adaptativa frente al cambio climático (v.g.: obras de conservación de suelos y limpieza de drenajes, para evitar posibles deslizamientos si se presentaran lluvias esporádicas muy fuertes).
- En renovación de cafetales, considerar un posible aumento de densidades de café utilizando

variedades mejoradas tolerantes a enfermedades que permitan incrementar la productividad.

- Contemplar un rediseño de doseles de sombra con base en buenos ejemplos de indicadores socioeconómicos y relaciones con diversidad de los tipos C1 y C4, además de balancear densidades y áreas basales por componente, nivel de importancia económica y aprovechamiento (v.g.: frutales diversos, árboles maderables y servicio).
- En la promoción de diversificación, fomentar mayor uso de tubérculos pues este tipo de producto incrementaría ingresos y estaría contribuyendo a la seguridad alimentaria.
- Los maderables se podrían ver como una opción de ingresos, al promoverse en plantaciones lineales.
- Motivar un mayor uso de mano de obra familiar, dado que hay una dependencia de mano de obra contratada, haitiana en este caso, que no cambiaría en un corto o mediano plazo. También valdría la pena incluir a estas personas en eventos de capacitación para mejorar el manejo de los cafetales dominicanos.

BIBLIOGRAFÍA

- Adeolu, A; Enesi, D. 2013. Assessment of proximate, mineral, vitamin and phytochemical compositions of plantain (*Musa paradisiaca*) bract—an agricultural waste. *International Research Journal of Plant Science* 4(7):192-197.
- Albertin, A; Nair, P. 2004. Farmers' perspectives on the role of shade trees in coffee production systems: An assessment from the Nicoya Peninsula, Costa Rica. *Human Ecology* 32(4):443-463.
- Ali, A; Devarajan, S; Waly, M; Essa, MM; Rahman, M. 2012. Nutritional and medicinal value of papaya (*Carica papaya* L.) In *Natural products and their active compounds in disease prevention*. New York, United States of America, Nova Science Publishers Inc. p. 34-42.
- Altieri, MA; Funes-Monzote, FR; Petersen, P. 2012. Agroecologically efficient agricultural systems for smallholder farmers: contributions to food sovereignty. *Agronomy for Sustainable Development* 32(1):1-13.
- Bacon, C. 2005. Confronting the coffee crisis: can fair trade, organic, and specialty coffees reduce small-scale farmer vulnerability in northern Nicaragua? *World Development*: 33(3):497-511.
- Barros, R; Maestri, M. 1995. Coffee crop ecology. *Tropical Ecology* 36(1): 1-19.
- Bates, D; Maechler, M; Bolker, B; Walker, S; Christensen, R; Singmann, H; Dai, B; Grothendieck, G. 2011. Package 'lme4' Linear mixed-effects models using S4 classes. s. n. t. (R package version 1.1-6.
- Bernardino-Nicanor, A; Bravo-Delgado, C; Vivar-Vera, G; Martínez-Sánchez, C; Pérez-Silva, A; Rodríguez-Miranda, J; Vivar-Vera, M. 2014. Preparation, composition, and functional properties of a protein isolate from a defatted mamey sapote (*Pouteria sapota*) seed meal. *Cyta-Journal of Food* 12(2):176-182.
- Blasco López, G; Montaña, FJG. 2015. Propiedades funcionales del plátano (*Musa* sp.). *Revista Médica de la Universidad Veracruzana* 14(2):22-26.

- Boakye, AA; Wireko-Manu, FD; Oduro, I; Ellis, WO; Gudjónsdóttir, M; Chronakis, IS. 2018. Utilizing cocoyam (*Xanthosoma sagittifolium*) for food and nutrition security: A review. *Food Science & Nutrition* 6(4): 703-713.
- Brown, O., Charveriat, C., & Eagleton, D. (2001). The coffee market—a background study. Londres, Reino Unido.
- Cabahug, RED; Baliton, RS; Landicho, LD; Comia, RA; Paelmo, RF. 2018. Scaling Up Agroforestry Promotion for Sustainable Development of Selected Smallholder Farmers in the Philippines. s.l, Southeast Asian Regional Center for Graduate Study and Research in Agriculture. (Agriculture and Development Discussion Paper Series 2018-4)
- Campanha, MM; Santos, RHS; De Freitas, GB; Martinez, HEP; Garcia, SLR; Finger, FL. 2004. Growth and yield of coffee plants in agroforestry and monoculture systems in Minas Gerais, Brazil. *Agroforestry Systems* 63(1): 75-82.
- Canet Brenes, G; Soto Viquez, C; Ocampo Thomason, P; Rivera Ramírez, J; Navarro Hurtado, A; Guatemala Morales, G; Villanueva Rodríguez, S; Dalip, K; Benavides, E; Romero Prada, J. 2016. La situación y tendencias de la producción de café en América Latina y El Caribe. San José, Costa Rica, IICA. 126 p.
- Cardozo, EG; Muchavisoy, HM; Silva, HR; Zelarayán, MLC; Leite, MFA; Rousseau, GX; Gehring, C. 2015. Species richness increases income in agroforestry systems of eastern Amazonia. *Agroforestry Systems* 89(5): 901-916.
- CEPAL (Comisión Económica para América Latina y El Caribe); INDOCAFE (Instituto Dominicano del Café); CNCCMDL (Consejo Nacional para el Cambio Climático y Mecanismo de Desarrollo Limpio). 2018. Café y cambio climático en la República Dominicana. Impactos potenciales y opciones de respuesta. Ciudad de México, México. 204 p. Disponible en <https://www.cepal.org/es/publicaciones/44163-cafe-cambio-climatico-la-republica-dominicana-impactos-potenciales-opciones>
- CEPAL (Comisión Económica para América Latina y El Caribe). 2019. Diagnóstico de la cadena de café en la República Dominicana Santo Domingo, República Dominicana. 100 p.
- Cerda, R; Deheuvels, O; Calvache, D; Niehaus, L; Saenz, Y; Kent, J; Vilchez, S; Villota, A; Martínez, C; Somarriba, E. 2014. Contribution of cocoa agroforestry systems to family income and domestic consumption: looking toward intensification. *Agroforestry Systems* 88(6): 957-981.
- Cerda, R; Allinne, C; Gary, C; Tixier, P; Harvey, CA; Krolczyk, L; Mathiot, C; Clément, E; Aubertot, J-N; Avelino, J. 2017. Effects of shade, altitude and management on multiple ecosystem services in coffee agroecosystems. *European Journal of Agronomy* 82: 308-319.
- Cerda, R; Andrade, H. 2019. Dasometría y medición de sombra (Presentación PowerPoint). Turrialba, Costa Rica, CATIE.
- Colwell, RK; Elsensohn, JE. 2014. EstimateS turns 20: statistical estimation of species richness and shared species from samples, with non-parametric extrapolation *Ecography* 37(6): 609-613.
- Chaparro Rojas, DC; Maldonado Celis, ME; Franco Londoño, MC; Urango Marchenta, LA. 2015. Características nutricionales y antioxidantes de la fruta curuba larga (*Passiflora mollissima* Bailey). *Perspectivas en Nutrición Humana* 16(2): 203-212.
- Davis, H; Rice, R; Rockwood, L; Wood, T; Marra, P. 2019. The economic potential of fruit trees as shade in blue mountain coffee agroecosystems of the Yallahs River watershed, Jamaica WI. *Agroforestry Systems* 93(2): 581-589.
- DeClerck, FA; Fanzo, J; Palm, C; Remans, R. 2011. Ecological approaches to human nutrition. *Food and Nutrition Bulletin* 32(1_suppl1): S41-S50.
- Detlefsen, G; Somarriba, E. 2015. Producción agroforestal de madera en fincas agropecuarias de Centroamérica Sistemas Agroforestales. In *Funciones Productivas, Socioeconómicas y Ambientales*. Turrialba, Costa Rica, CATIE. (Serie técnica. Informe técnico 402). p. 21-43.
- Di Rienzo, JA; Casanoves, F; Balzarini, MG; González L; Tablada, M; Robledo, CW. 2014. InfoStat versión 2014. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba. Córdoba, Argentina. Consultado 3 jun. 2019. Disponible en: <http://www.infostat.com.ar>
- EFSA Panel on Dietetic Products, N; Allergies. 2015. Scientific Opinion on the safety of *Arracacia xanthorrhiza* as a novel food. *EFSA Journal* 13(1):3954.
- Enejoh, OS; Ogunyemi, IO; Bala, MS; Oruene, IS; Suleiman, MM; Ambali, SF. 2015. Ethnomedical importance of *Citrus aurantiifolia* (christm) swingle. *The Pharma Innovation* 4(8, Part A):1.
- Escarramán, A. 2020. Retos de la producción de café ante un clima cambiante. In *Foro Cafetero*. Santo Domingo, República Dominicana, INDOCAFE. p. 34-35
- Etebu, E; Nwauzoma, A. 2014. A review on sweet orange (*Citrus sinensis* L Osbeck): health, diseases and management. *American Journal of Research Communication* 2(2):33-70.
- FAO (Food and Agriculture Organization). 2001. Human Vitamin and Mineral Requirements. Rome, Italy. 286 p. Disponible en <http://www.fao.org/3/a-y2809e.pdf>
- Fernández, V; Sulbarán, B; Ojeda de Rodríguez, G; Nava, R; Delgado, J; Berradre, M; Peña, J. 2010. Contenido mineral de la guanábana (*Annona muricata*) cultivada en el occidente de Venezuela. *Boletín del Centro de Investigaciones Biológicas* 41(1): 86-95.
- FNC (Federación Nacional de Cafeteros de Colombia). 2020. Producción de café de Colombia cerró el 2019 en 14,8 millones de sacos (sitio web). Disponible en <https://federaciondecafeteros.org/wp/listado-noticias/produccion-de-cafe-de-colombia-cerro-el-2019-en-148-millones-de-sacos/>
- Frías Tamayo, JÁ; Ramírez Peña, G; de la Paz Lorente, C; Herrero Pacheco, C; Acosta Campusano, Y. 2016. *Sechium edule* (jacq) sw: Phytotherapeutic as an antibacterial agent. *MediSur* 14(6): 664-670.
- García, E; Hernández, E; De Paula, CD; Tatis, HA. 2003. Caracterización bromatológica de la berenjena (*Solanum melongena* L.) en el departamento de Córdoba. *Temas Agrarios* 8(1): 27-32.
- Gargi, D. 2019. Avocado consumption and immune response: A review on ethiopian context. *Indian Journal of Public Health Research and Development* 10(9):253-258. Disponible en <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85075322931&doi=10.5958%2f0976-5506.2019.02435.5&partnerID=40&md5=4211fa530f04ba3a118bd623a65f8eea> doi 10.5958/0976-5506.2019.02435.5
- Garrity, DP. 2004. Agroforestry and the achievement of the Millennium Development Goals. *Agroforestry Systems* 61(1-3): 5-17.
- Gent, MP; Parrish, ZD; White, JC. 2005. Nutrient uptake among subspecies of *Cucurbita pepo* L. is related to exudation of citric acid. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 130(5): 782-788.

- Jacobi, J; Schneider, M; Bottazzi, P; Pillco, M; Calizaya, P; Rist, S. 2015. Agroecosystem resilience and farmers' perceptions of climate change impacts on cocoa farms in Alto Beni, Bolivia. *Renewable Agriculture and Food Systems* 30(2):170-183.
- Jaramillo-Botero, C; Santos, RHS; Martinez, HEP; Cecon, PR; Fardin, MP. 2010. Production and vegetative growth of coffee trees under fertilization and shade levels. *Scientia Agricola* 67(6):639-645.
- Jezeer, RE; Santos, MJ; Boot, RG; Junginger, M; Verweij, PA. 2018. Effects of shade and input management on economic performance of small-scale Peruvian coffee systems. *Agricultural Systems* 162:179-190.
- Kolawole, S; OBUEH, H; Emokpae, B. 2017. Nutritional and antinutritional evaluation of grape fruit (*Citrus paradisi*) juice using different extraction methods. *Journal of Advances in Food Science & Technology* 4(2):84-90.
- Lauricella, M; Emanuele, S; Calvaruso, G; Giuliano, M; D'Anne, A. 2017. Multifaceted health benefits of *Mangifera indica* L.(Mango): the inestimable value of orchards recently planted in Sicilian rural areas. *Nutrients* 9(5):525.
- Leakey, RR; Tchoundjeu, Z; Schreckenber, K; Shackleton, SE; Shackleton, CM. 2005. Agroforestry tree products (AFTPs): targeting poverty reduction and enhanced livelihoods International. *Journal of Agricultural Sustainability* 3(1):1-23.
- León Méndez, G; Granados Conde, C; Fortich, O; del Rosario, M. 2016. Caracterización de la pulpa de *Annona muricata* L. cultivada en el Norte del Departamento de Bolívar-Colombia. *Revista Cubana de Plantas Medicinales* 21(4):1-9.
- Litoriya, NS; Gandhi, K; Talati, J. 2014. Nutritional composition of different chilli (*Capsicum annum* L.) varieties. *Indian Journal of Agricultural Biochemistry* 27(1):91-92.
- Lyngbæk, AE; Muschler, RG. 2001. Productivity and profitability of multi-strata organic versus conventional coffee farms in Costa Rica. *Agroforestry Systems* 53(2):205-213.
- Magcale-Macandog, DB; Rañola, FM; Rañola, RF; Ani, PAB; Vidal, NB. 2010. Enhancing the food security of upland farming households through agroforestry in Claveria, Misamis Oriental, Philippines. *Agroforestry Systems* 79(3):327-342.
- Mereles, L; Ferro, E; Alvarenga, N; Caballero, S; Wiszovaty, L; Piris, P; Michajluk, B. 2017. Chemical composition of *Macadamia integrifolia* (Maiden and Betche) nuts from Paraguay. *International Food Research Journal* 24(6):2599-2608.
- Meylan, L; Gary, C; Allinne, C; Ortiz, J; Jackson, L; Rapidel, B. 2017. Evaluating the effect of shade trees on provision of ecosystem services in intensively managed coffee plantations. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 245:32-42.
- Muschler, R. 1999. Árboles en cafetales. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 139 p. (Módulo de Enseñanza Agroforestal no. 5).
- Navarro, CL; Restrep, D; Perez, J. 2014. El guandul (*Cajanus cajan*) una alternativa en la industria de los alimentos. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial* 12(2):203-212.
- Njoh Ellong, E; Billard, C; Pétró, D; Adenet, S; Rochefort, K. 2015. Physicochemical, nutritional and sensorial qualities of Boutou yam (*Dioscorea alata*) varieties. *Journal of Experimental Biology and Agricultural Sciences* 3(2):138-150.
- Núñez, P; Cuevas, B. 2004. Especies arbóreas de valor comercial y cultivos alimenticios presentes en cafetales de las provincias Monseñor Novel y La Vega. In IDIAF (Instituto Dominicano de Investigaciones Agropecuarias y Forestales). *Agroforestería. Resultados de investigación*. Santo Domingo, República Dominicana. p. 1:1-27.
- Peñaló, JP; Ramírez, D. 2017. Sector cafetalero en República Dominicana, análisis del impacto del cambio climático (presentación PowerPoint). s. l., CBCND. Disponible en https://www.cepal.org/sites/default/files/events/files/presentacion_17.10.17_diana_ramirez_y_juan_pablo_penalo.pdf
- Pinoargote, M; Cerda, R; Mercado, L; Aguilar, A; Barrios, M; Somarriba, E. 2017. Carbon stocks, net cash flow and family benefits from four small coffee plantation types in Nicaragua. *Forests, Trees and Livelihoods* 26(3):183-198.
- Ponce Vaca, LA; Acuña Velázquez, IR; Proaño Ponce, WP; Orellana Suárez, KD. 2018. El sistema agroforestal cafetalero. Su importancia para la seguridad agroalimentaria y nutricional en Ecuador. *Revista Cubana de Ciencias Forestales* 6(1):116-129.
- Putnik, P; Barba, FJ; Lorenzo, JM; Gabrieli D; Shpigelman, A; Cravotto, G; Bursa Kovačević D. 2017. An integrated approach to mandarin processing: Food safety and nutritional quality, consumer preference, and nutrient bioaccessibility. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* 16(6):1345-1358.
- Romo, AG. 2019. Café y pobreza en los productores Otomí-Tepehua: crisis del desarrollo rural frente al neoliberalismo. *Cimex* 13(2):27-42.
- Rosario, M; Rojas, MD. 2017. Análisis del efecto de la temperatura de cocción en la calidad nutritiva del jugo natural de guayaba (*Psidium guajava* L.) utilizando el fruto maduro sin piel. *Revista de Investigación* 41(90):83-101.
- Sáenz Tijerino, YI. 2013. Aporte del cacaotal en la economía y nutrición familiar en Waslala, Nicaragua. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE.
- Salvador, E; Steenkamp, V; McCrindle, CME. 2014. Production, consumption and nutritional value of cassava (*Manihot esculenta*, Crantz) in Mozambique: An overview. *Journal of Agricultural Biotechnology and Sustainable Development* 6(3):29-39.
- Sibelet, N; Montzieux, M. 2012. Les facteurs de résilience de la caféiculture au Kenya: de la sécurisation alimentaire à la retraite. *Cahiers Agricultures* 21(2-3):179-191..
- Siyuan, S; Tong, L; Liu, R. 2018. Corn phytochemicals and their health benefits. *Food Science and Human Wellness* 7(3):185-195.
- Somarriba, E. 1990. Sustainable timber production from uneven-aged shade stands of *Cordia alliodora* in small coffee farms. *Agroforestry systems* 10(3):253-263.
- Toral, B. 2020. La sombra, su manejo y la sostenibilidad del agroecosistema cafetero en la Región Enriquillo. Santo Domingo, República Dominicana, INDOCAFE.
- Vaast, P; Bertrand, B; Perriot, JJ; Guyot, B; Genard, M. 2006. Fruit thinning and shade improve bean characteristics and beverage quality of coffee (*Coffea arabica* L.) under optimal conditions. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 86(2):197-204.
- Villarreyna Acuña, R. 2014. Análisis de las condiciones de manejo que propiciaron el impacto de la roya (*Hemileia vastatrix*) en la zona cafetalera de los municipios de Jinotega, el Tuma-La Dalia y San Ramón, Nicaragua. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 80 p.
- Villarreyna Acuña, R. 2016. Efecto de los árboles de sombra sobre el rendimiento de los cafetos, basado en perfiles de daño. s. l. CATIE. 32 p.
- Villarreyna, R; Virginio Filho, E de M; Jones, C; Florián, E; Soto, G; Astorga, C. 2017. Acciones para fortalecer la adaptación y mitigación del cambio climático en el sector cafetalero de

- Costa Rica: Manual técnico para reducir vulnerabilidad de fincas cafetaleras frente al cambio climático. PRCC (Programa Regional de Cambio Climático)-PROCAGICA (Programa Centroamericano de Gestión Integral de la Roca del Café). Ciudad de Guatemala, Guatemala. Servi Prensa. 104 p.
- Vyas, MB; Shah, SK. 2016. Review on nutritional and medicinal values of " *Carica papaya*". Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry 5(4):284.
- Wanasundera, J; Ravindran, G. 1992. Effects of cooking on the nutrient and antinutrient contents of yam tubers (*Dioscorea alata* and *Dioscorea esculenta*). Food Chemistry 45(4):247-250.
- Zimmerer, KS. 2007. Agriculture, livelihoods, and globalization: The analysis of new trajectories (and avoidance of just-so stories) of human-environment change and conservation. Agriculture and Human Values 24(1):9-16.

Reseñas de publicaciones CATIE-PROCAGICA-IICA-UE



Acciones para fortalecer la adaptación y mitigación del cambio climático en el sector cafetalero de Costa Rica y Nicaragua

Estos manuales fueron elaborados con el fin de apoyar la implementación de estrategias para reducir la vulnerabilidad de fincas cafetaleras frente al cambio climático en ambos países centroamericanos. Brindan información clave para todos los actores de la cadena productiva del café sobre la inminente amenaza del cambio climático y la búsqueda de las soluciones más adecuadas ante esta problemática. Están diseñados como una herramienta de apoyo para el personal técnico con el fin de fortalecer las capacidades de las familias productoras de café.

Ambos documentos están conformados por módulos secuenciales cuyo contenido se fundamenta en las principales necesidades de información para apoyar el análisis de vulnerabilidad y capacidad adaptativa por parte de personal técnico, instituciones y las familias productoras. Estos módulos abarcan temas que van desde la importancia del aprendizaje integral hasta la descripción de conceptos sobre clima, cambio climático, vulnerabilidad y todas las interacciones y relaciones destacadas en la temática de la adaptación y mitigación del cambio climático. Además, se ofrecen elementos y orientaciones sobre cómo construir localmente procesos interactivos y participativos que fortalezcan la toma de decisiones para implementar acciones de adaptación y mitigación del sector cafetalero ante el cambio climático.



Como aporte final, los manuales presentan al lector herramientas para evaluar la exposición y sensibilidad de los cafetales a fenómenos del clima y la descripción de buenas prácticas que reducen la vulnerabilidad y favorecen la adaptación y mitigación al cambio climático. Para el caso de Costa Rica, se describen acciones que actualmente implementan algunas de las cooperativas cafetaleras del país.

Comunicación técnica: Híbridos F1 de café, resistencia a la roya y estrategias a futuro



Esta publicación está dirigida a técnicos y público en general para explicar aspectos generales sobre la "pérdida de resistencia a la roya" por parte de híbridos F1 de café e indicar cuáles deben ser las estrategias a promover en el corto y mediano plazo en la región de Latinoamérica y El Caribe (LAC).

El documento inicialmente aclara que los clones de café considerados como resistentes a la roya no perdieron sus genes de resistencia, sino que el patógeno superó esta resistencia mediante la mutación y el desarrollo de nuevos genes de virulencia. El documento también explica detalladamente cómo surgieron estas nuevas razas de roya.

También se da una explicación sobre la situación de los híbridos F1, actualmente distribuidos en LAC, los cuales, a pesar de que su resistencia viéndose superada por las nuevas razas de roya, la intensidad de su ataque sigue siendo menor en estos materiales, lo que es un hecho positivo para los productores. Sin embargo, se insta a los mismos a reforzar sus fincas con la implementación de un manejo integrado de plagas y enfermedades como prevención a eventuales epidemias.

Ante esta situación, los institutos del café, el CATIE, el CIRAD, PROMECAFE y otros socios está creando nuevos híbridos F1 que acumulen una mayor cantidad de genes de resistencia.



Cafetales sanos, productivos y ambientalmente amigables: Guía para trabajo con familias productoras

Este manual pretende ilustrar y apoyar a productores, técnicos e interesados en la producción de café, con ideas y procedimientos prácticos, sencillos y claros, basados en las buenas prácticas para el cultivo que surgieron de experiencias sobresalientes en campo y que han sido enriquecidas con resultados de investigación. Promueve que los cafetales se mantengan sanos, cada vez más productivos y que en el proceso, no se limiten a no contaminar, sino que vayan más allá, mitigando el impacto negativo de otras actividades productivas al ambiente.

Los retos que la caficultura enfrenta en la actualidad son grandes. La variabilidad climática, la intensificación de plagas y enfermedades y la poca rentabilidad del cultivo son parte de los temas que ponen a prueba nuestra capacidad; en ese sentido, este manual es un instrumento valioso para fortalecer la capacidad del productor para sobreponerse a los grandes retos vinculados a la producción de forma sostenible, a mejorar las condiciones de vida de las familias y conservar los recursos naturales.

Estado del arte sobre el conocimiento de razas, monitoreo y control de la roya del café en los países de PROMECAFE



En los últimos cuatro años, con el apoyo del Programa Centroamericano de la Gestión Integral de la Roya del Café (PROCAGICA) y, mediante un esfuerzo colaborativo entre el CATIE, PROMECAFE, los institutos nacionales de café y el CIRAD, se generó un importante conocimiento sobre el comportamiento de la roya (*Hemileia vastatrix*), en especial sobre la aparición de nuevas razas del patógeno. Este esfuerzo colaborativo contó con el apoyo fundamental del fitopatólogo Láercio Zambolim-UFV (Brasil), que contribuyó con el fortalecimiento de la capacidad de los países de la región de PROMECAFE, para desarrollar estudios y monitoreo específicos sobre la enfermedad con el propósito de mejorar las estrategias de prevención y control de la misma. Este documento permite conocer los esfuerzos y aprendizajes generados con una participación amplia de técnicos e instituciones dedicadas a construir una caficultura más resiliente y sostenible para el presente y futuro.

Este manual ofrece una síntesis de la información más reciente sobre la gestión integral de la roya en países del área de PROMECAFE y busca ser una herramienta de apoyo a técnicos, investigadores y practicantes, que participan en investigación, asistencia técnica y el fortalecimiento de los procesos de aprendizaje integral.

Estado del arte y manejo de los híbridos F1 (*Coffea arabica* L.) del programa de mejoramiento genético de PROMECAFE



El convenio marco que definió en el 2008 la gestión, multiplicación y liberación comercial de los híbridos F1 desarrollados por el Programa de Mejoramiento Genético de Café del PROMECAFE-CATIE-CIRAD e institutos nacionales de café, posibilitó la disponibilidad de materiales altamente productivos, con potencial de calidad destacada, rusticidad y tolerancia/resistencia a enfermedades de alto impacto como la roya (*Hemileia vastatrix*) y alto potencial de adaptabilidad a eventos extremos vinculados al cambio climático.

Esta publicación surge como el primer manual técnico de referencia sobre el diseño y manejo de plantaciones con los llamados “café del futuro”. Comprende desde el lugar de origen del café, inicio del cultivo y su dispersión por las diferentes regiones del mundo, hasta la llegada a América Latina.

Además, introduce los conceptos generales de mejoramiento genético, el desarrollo del programa de mejoramiento genético (PROMECAFE-CATIE-CIRAD e institutos nacionales de café), la caracterización general de los híbridos F1 y finalmente el manejo integral de los mismos.

Descripción agronómica y matemática de algunos sistemas de poda de *Coffea arabica* en Centroamérica, México y República Dominicana



Es un manual dirigido a agrónomos, investigadores y extensionistas dedicados al desarrollo de nuevas formas de manejar el tejido vegetativo y productivo de café mediante las podas, y constituye una herramienta técnica-matemática que ayuda en la conceptualización del desarrollo de los tejidos sometidos a cortes y su relación con el rendimiento de café en grano, por planta y por superficie.

En él se describen, en forma escrita, gráfica y matemática, siete diferentes sistemas de poda de café derivados de experiencias de manejo e investigación aplicada en Costa Rica, Nicaragua, Honduras, El Salvador, Guatemala, México y la República Dominicana. Estos sistemas fueron descritos por 18 expertos de las siguientes organizaciones/instituciones: CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza), del IICA (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura), del Instituto Dominicano del Café (INDOCAFE), del Instituto Hondureño del Café (IHCAFE), del Instituto Nicaragüense de Tecnología Agropecuaria (INTA), del Instituto Costarricense del Café (ICAFE), de la Asociación Nacional del Café (ANACAFE) de Guatemala, del Consejo Salvadoreño del Café (CSC), la Universidad Autónoma Chapingo (UACH) y del Centro Agroecológico del Café (CAFECOL) de México. Los sistemas de poda incluidos en este manual fueron escogidos por los expertos para representar los sistemas importantes de cada país, con variedades, condiciones agroecológicas y sistemas de manejo muy particulares en cada caso.

Sistematización del proceso histórico y momento actual: finca orgánica cañaveral



La familia Fuentes Gamboa es un referente de la agricultura familiar; es la dueña de la finca orgánica Cañaveral, la cual se destaca por el cultivo de caña de azúcar, café, la elaboración de bioinsumos, aprovechamiento de madera y otros proyectos de producción, como el cultivo de cacao y de servicio como el agroturismo. Adicionalmente, la familia pertenece a la Asociación de Productores Orgánicos Asentamiento Neda Turrialba (APROANET), la cual sirve de canal de comunicación para la comercialización de los productos y servicios, y de forma organizativa para la toma de decisiones dentro de la familia.

Con el objetivo de vender sus productos, la finca orgánica Cañaveral ha hecho un largo recorrido en el desarrollo de estrategias de comunicación y venta. De ahí que este documento tiene la finalidad de sistematizar y entender el proceso histórico y momento actual de todas las actividades productivas y otros componentes de dicha finca, para rescatar lo relevante y proponer recomendaciones para la mejora productiva y el fortalecimiento organizativo de la familia Fuentes Gamboa. En este marco, el documento ofrece una guía para APROANET, otras familias productoras o cualquier persona que esté promoviendo iniciativas de agricultura familiar sostenible y, en particular, para productores que enfrentan los diferentes desafíos que limitan el empoderamiento de sus unidades productivas en un contexto de mayor independencia de insumos externos, mayores beneficios económicos, sociales y ambientales, así como mayor capacidad adaptativa y mitigación frente al cambio climático.

Aves, abejas y el cultivo del café

Este afiche fue elaborado por el proyecto “Conservando aves migratorias neotropicales a través del manejo de servicios ecosistémicos en fincas de café”, con el apoyo de CATIE-PROCAGICA-IICA-UE. La finalidad de esta publicación es ofrecer a los productores una imagen clara de los beneficios que ofrecen las aves y las abejas a su finca y su producción de café mediante los servicios ecosistémicos que ofrecen, tales como la supresión de plagas como la broca y el aumento en la polinización de las flores. Además, explica cómo los sistemas agroforestales o fincas más diversificadas promueven una mayor presencia de esta fauna y, por ende, reciben más beneficios de la misma. Por último, explica como este cultivo colabora con el aumento de la biodiversidad en el paisaje.

Aves, abejas y el cultivo del café
 ¡Conservar la biodiversidad es importante para mantener los servicios de los cuales nos beneficiamos, incluyendo el control de plagas y la polinización!

¿Cómo ayudan las aves a la producción del café?
 Diferentes tipos de aves que viven de manera permanente (residentes) o temporal (migratorias) en los cafetales y sus alrededores de alimentan de insectos dañinos como la broca del café (*Hypothenemus hampei*). Se sabe que al menos 25 tipos de aves consumen la broca, reduciendo la cantidad de frutos brocados, en algunos casos hasta en un 58%, y generando un ahorro anual de hasta US\$310 por hectárea.

¿Cómo ayudan las abejas a la producción de café?
 Las abejas ayudan a que las plantas de café produzcan más frutos y que éstos sean de mayor tamaño. Se sabe que al menos 80 diferentes tipos de abejas visitan las flores del café, y existe evidencia de que los cafetales con más visitas de abejas tienen una mayor productividad y mayores ganancias económicas.

¿Qué son los servicios ecosistémicos?
 Son todos los beneficios que recibimos gracias a la existencia de los diferentes tipos de plantas y animales, es decir la biodiversidad.

¿Cómo ayuda la biodiversidad al cultivo del café?
 El cultivo del café se beneficia de la presencia de diferentes tipos de plantas y animales. Por ejemplo, los árboles evitan la erosión y contribuyen a la fertilidad del suelo, algunos animales se alimentan de otros que dañan el cultivo, e insectos, aves y mariposas polinizan las flores para producir más y mejores frutos.

¿Todas las fincas se benefician igual?
 No, no todas las fincas de café reciben los mismos beneficios. Los cafetales con árboles de sombra pueden recibir mayores beneficios que aquellos cultivados a pleno sol, al servir los árboles de hogar para aves y abejas, y proveer otros servicios como leña, alimento y madera.

¿Cómo podemos aumentar las aves y las abejas en las fincas de café?
 Disminuyendo el uso de herbicidas e insecticidas y la frecuencia de podas y chapas; aumentando el número y tipo de árboles; creando zonas o reservando parcelas de bosques; y sembrando árboles y arbustos que den flores. Todas estas acciones ayudan a mejorar la casa y el alimento disponible para aves y abejas.

Prácticas que debemos aumentar: Bosque, Flores, Árboles de sombra.

Prácticas que debemos reducir: Agroquímicos, Chapas, Tala.

www.catie.ac.cr

Videos disponibles en línea

PROCAGICA, incrementa considerablemente el acogimiento de prácticas de mejora de la producción por parte de los productores y fomenta el relevo generacional de los mismos. En la actualidad, los videos constituyen una de las maneras más directa para la transferencia de conocimiento, por lo que durante la implementación de este Programa se produjeron los videos (incluidos en el cuadro con su correspondiente enlace), los cuales abarcan temas como prácticas de adaptación al cambio climático, alternativas agroforestales sostenibles y los híbridos F1 de café, entre otros.

Videos	Enlace de acceso
“Impulsando la adaptación de la caficultura al cambio climático en cooperativas de Costa Rica.” Fundación Café Forestal, ICAFE, MAG, ADAPTATION FUND, FUNDECOOPERACIÓN, DCC, CATIE, IICA, UE	https://www.youtube.com/watch?v=7C2MqpoesBU
Resultados de tres años de validación de prácticas de adaptación en red de parcelas en fincas de familias productoras de café en Costa Rica	
Documental Costa Rica sustentabilidad generando valor. intercambio técnico de misión brasileña SEBRAE, SISTEMA OCB, CATIE e IICA	https://www.youtube.com/watch?v=HHbu63m0PE
Divulgación de nota técnica sobre híbridos F1 y la roya del café. IICA-CATIE-UE-PROMECAFE-CAC-CIRAD	https://www.youtube.com/watch?v=0KLF_EDkX5k&feature=youtu.be

CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza) es un centro regional dedicado a la investigación y la enseñanza de posgrado en agricultura, manejo, conservación y uso sostenible de los recursos naturales. Sus miembros son Belice, Bolivia, Colombia, Costa Rica, El Salvador, Guatemala, Honduras, México, Nicaragua, Panamá, Paraguay, República Dominicana, Venezuela y el Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA).



Solutions for environment and development
Soluciones para el ambiente y desarrollo

Para mayor información, escribanos a
Tecnología de Información y Comunicación
Sede Central, CATIE
Cartago, Turrialba, 30501
Costa Rica
Teléfono: (506) 2558-2000
comunica@catie.ac.cr
www.catie.ac.cr