

*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-Sampson<sup>1</sup>, Elias de Melo Virginio Filho<sup>2</sup>, Eduardo Somarriba<sup>3</sup>, Bayron Medina<sup>4</sup>, Harold Gamboa<sup>5</sup>, José Sebastián Marcucci<sup>6</sup>, Marco Tulio Duarte<sup>7</sup>, Omar Funes<sup>8</sup>, Carlos Rubén Núñez<sup>8</sup>, Calixto García<sup>9</sup>, Adán Hernández<sup>10</sup>, Julio Grande<sup>10</sup>, Miguel Obando<sup>11</sup>, Cinthya González<sup>11</sup>, José Eduardo Escobar<sup>11</sup>, Raúl Gutiérrez<sup>12</sup>, Mauricio Carcache<sup>13</sup>, Félix Pozo<sup>12</sup>, Norvin Sepúlveda<sup>14</sup>, Eduardo Say<sup>15</sup>, Ever Cruz<sup>16</sup>, Carlos Jones León<sup>17</sup>, Fernando Casanoves<sup>3</sup>, Carlos Viera<sup>18</sup>, Francisco Navarrete<sup>19</sup>, Sophya Reyes<sup>20</sup>, Elvin Navarrete<sup>20</sup>, Nery Herrera<sup>4</sup>, Josué Guerra<sup>4</sup>**

**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<sup>-1</sup> 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, Coopopilangosta, Coopeldos, Coopemiramontes, Coopellanobonito, Coopesaralito 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
<b>El Salvador</b>				
A	1	1	1	1
B	39	2	1	39
M	10	4	4	10
<b>Subtotal El Salvador</b>	<b>50</b>	<b>7</b>	<b>6</b>	<b>50</b>
<b>Guatemala</b>				
A	17	7	2	11
B	11	5	2	9
M	22	8	2	20
<b>Subtotal Guatemala</b>	<b>50</b>	<b>20</b>	<b>6</b>	<b>40</b>
<b>Honduras</b>				
A	19	2	3	1
M	30	6	5	2
<b>Subtotal Honduras</b>	<b>49</b>	<b>8</b>	<b>8</b>	<b>3</b>
<b>Nicaragua</b>				
B	27	7	5	13
A	23	6		5
<b>Subtotal Nicaragua</b>	<b>50</b>	<b>13</b>	<b>6</b>	<b>18</b>

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

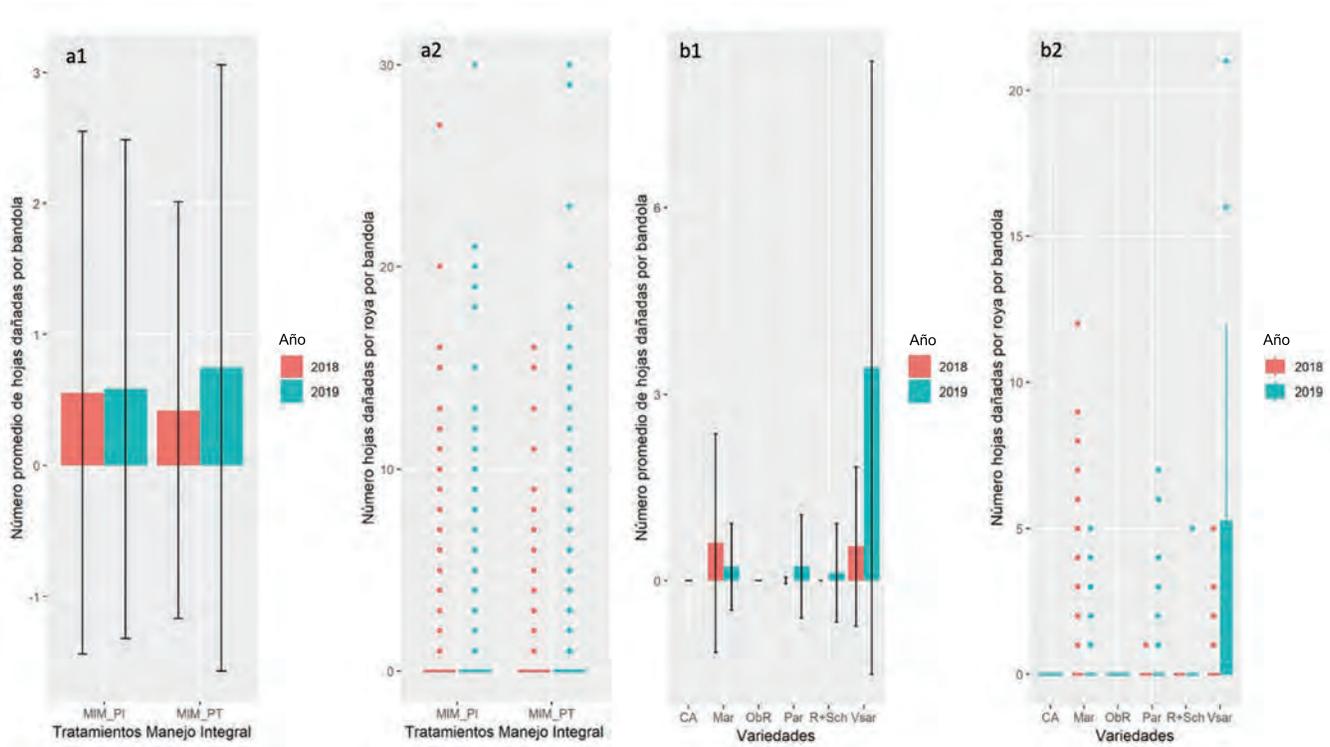
### Avances de resultados (El Salvador, Guatemala, Honduras, Nicaragua)

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.

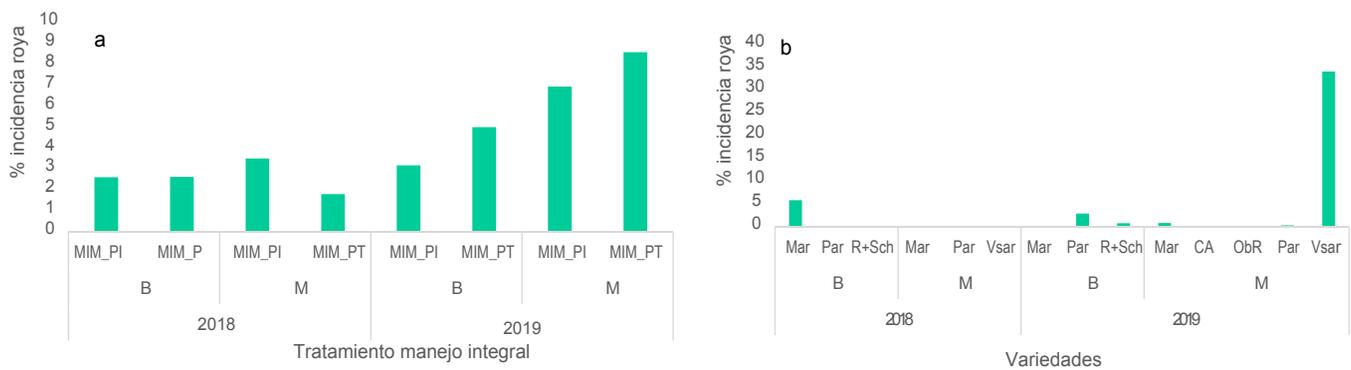
#### Incidencia de roya en Nicaragua

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

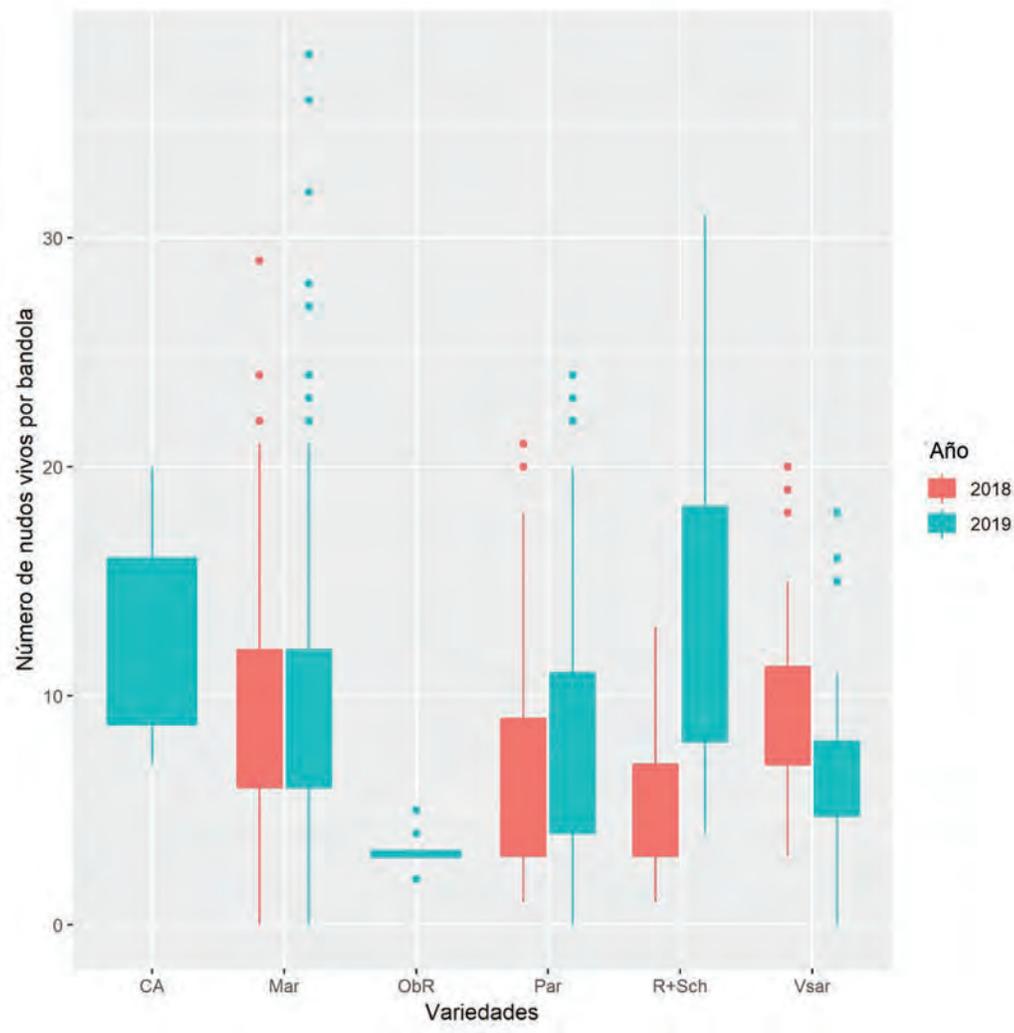
en el promedio de hojas enfermas por roya en el 2019 en comparación al 2018, sugiriendo algún efecto del manejo dado a los cafetales (Figura 1). Las variedades evaluadas fueron: i) Parainema, ii) injerto de Sarchimor en Robusta, iii) Centroamericano, iv) Obata rojo, v) Villa-Sarchimor, y vi) Marsellesa. 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)

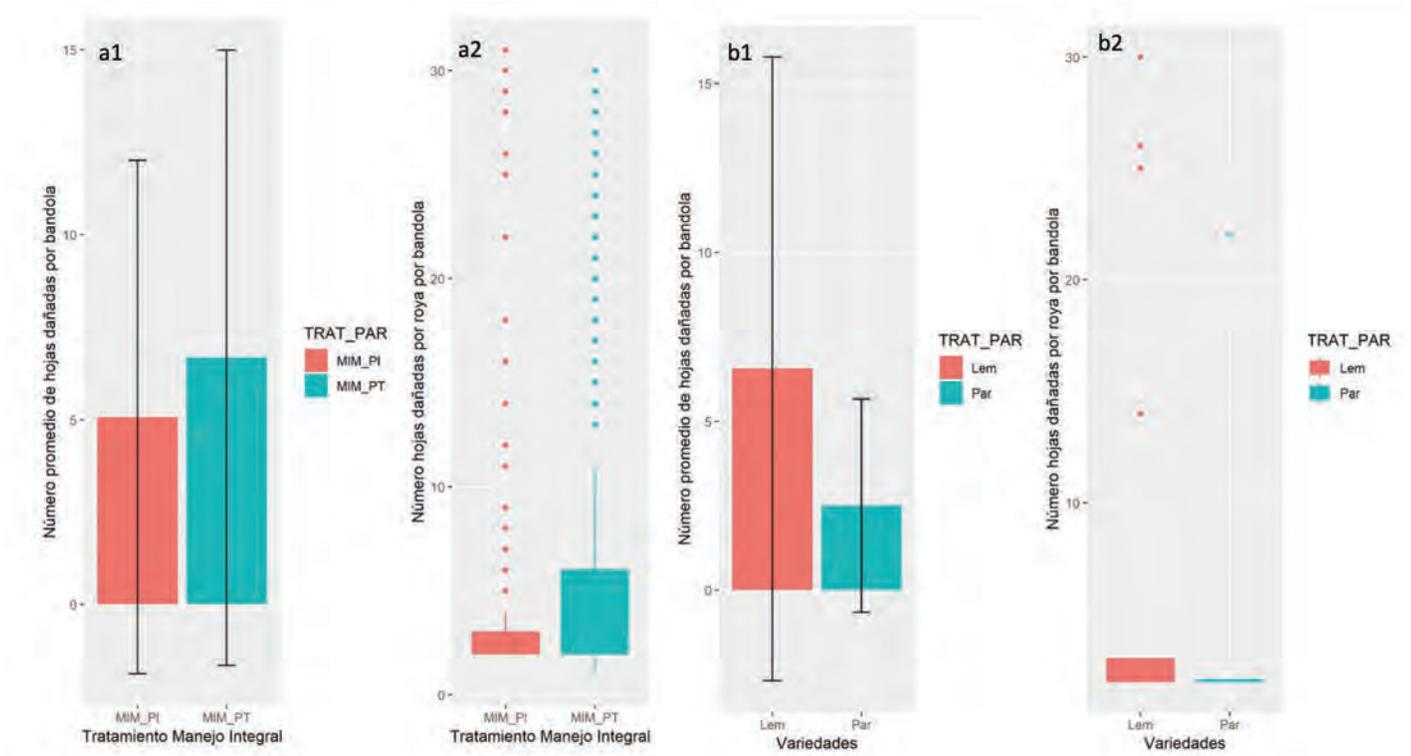


**Figura 3.** *Boxplot* del número de nudos vivos por bandola y variedad durante el periodo de evaluación (2018 - 2019) en cafetales de Nicaragua. Las líneas de los extremos de arriba y abajo de las cajas representan el 25% y el 75% cuartil, respectivamente. CA: Centroamericano, Mar: Marsellesa, ObR: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

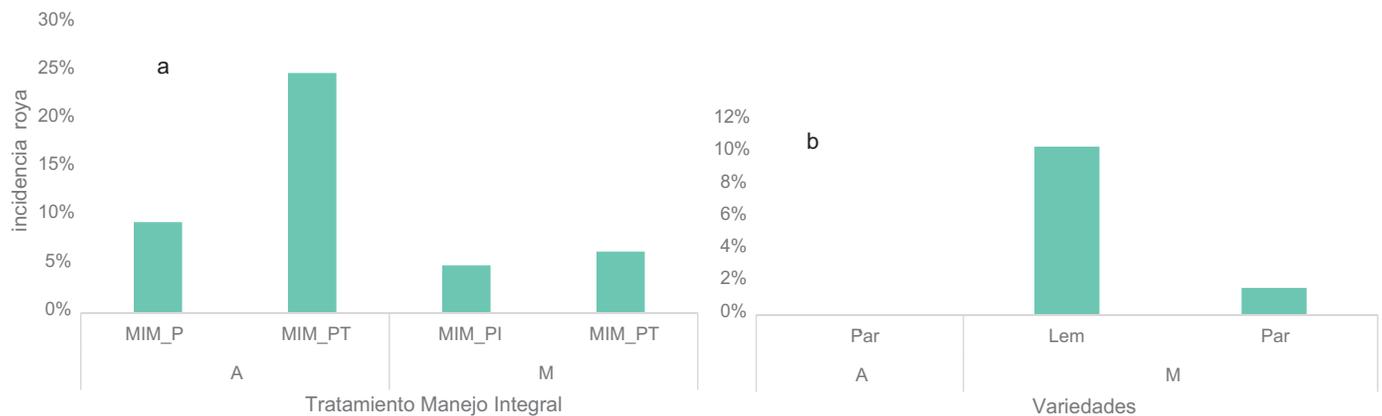
### Incidencia de roya en Honduras

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

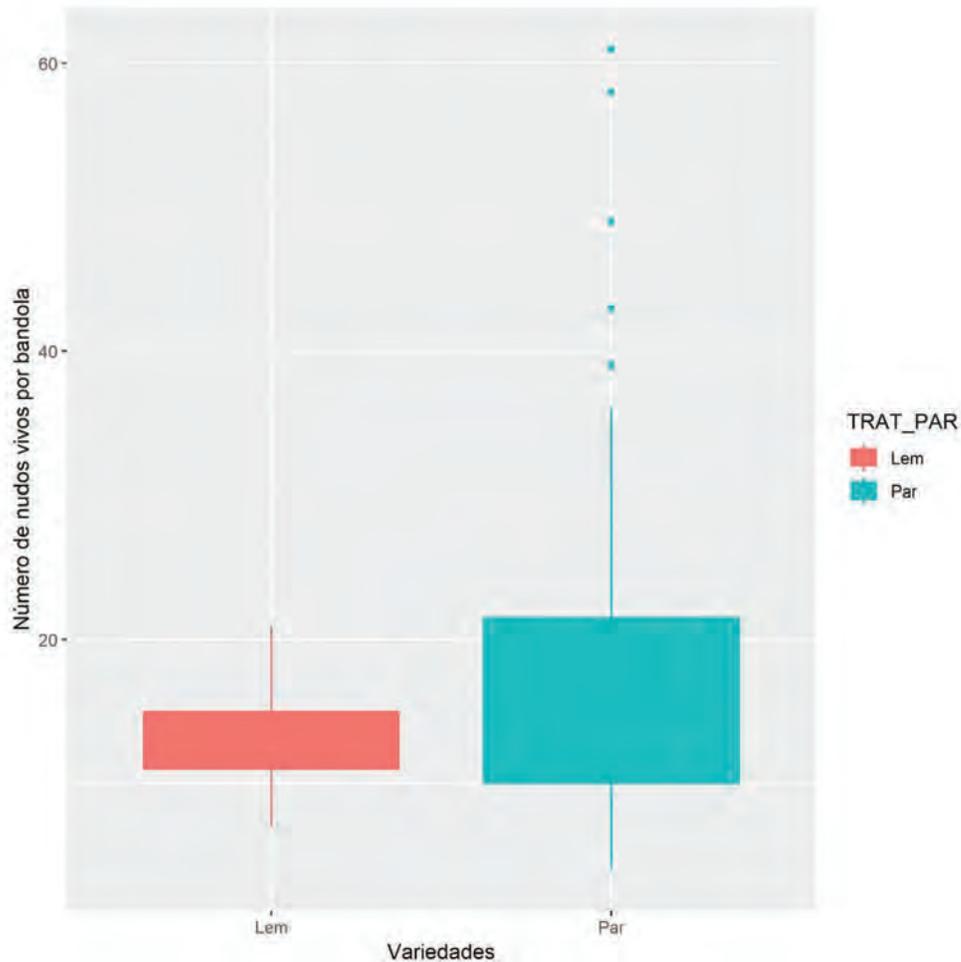
de café resistentes a la roya consideró dos (Lempira y Parainema), establecidas en sólo dos parcelas con manejo integral. Lempira fue la variedad que presentó la mayor incidencia por roya (Figura 5) y es a la vez la variedad más común en los cafetales evaluados. La incidencia de roya estuvo en el rango 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)



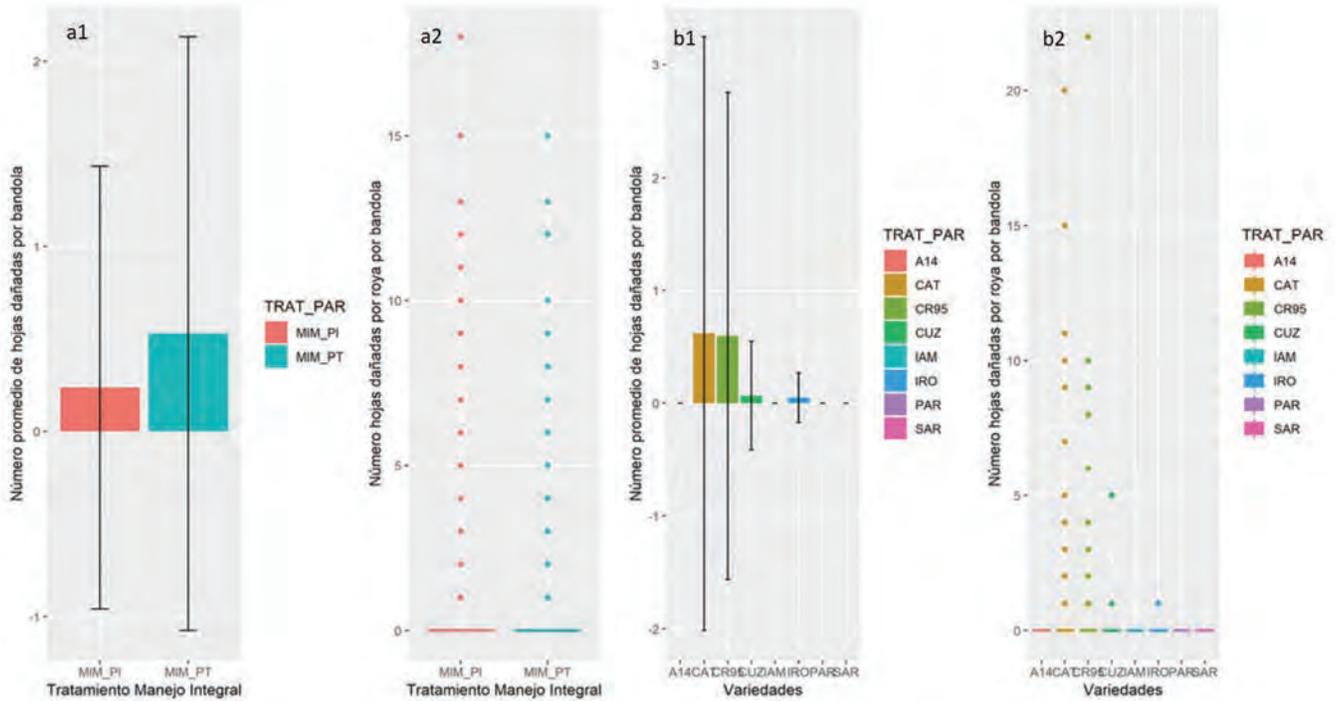
**Figura 6.** *Boxplot* del número de nudos vivos por bandola y variedad en tratamiento variedad en cafetales de Honduras, año 2019. Las líneas de los extremos de arriba y abajo de las cajas representan el 25% y el 75% cuartil, respectivamente. Lem: Lempira. Par: Parainema

### Incidencia de roya en El Salvador

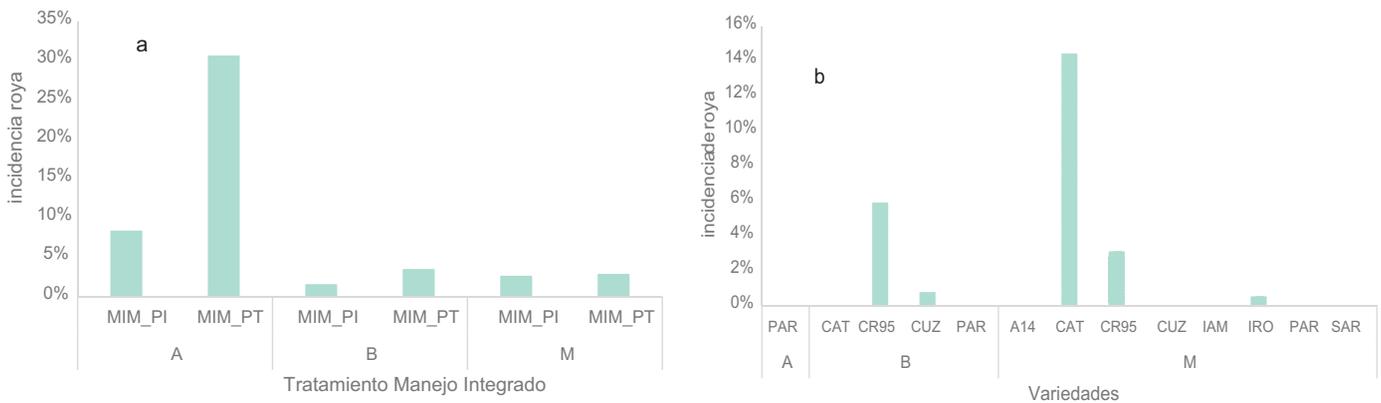
En El Salvador, las parcelas de validación se ubican en promedio a los 890 msnm (rango de altitud entre 540 m y 1430 m). La mayoría de las fincas se localizan en el estrato bajo de altitud (82%), seguido de un 39% en el estrato alto y solo un 6% de las parcelas están ubicados en el estrato alto. Catisic 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).

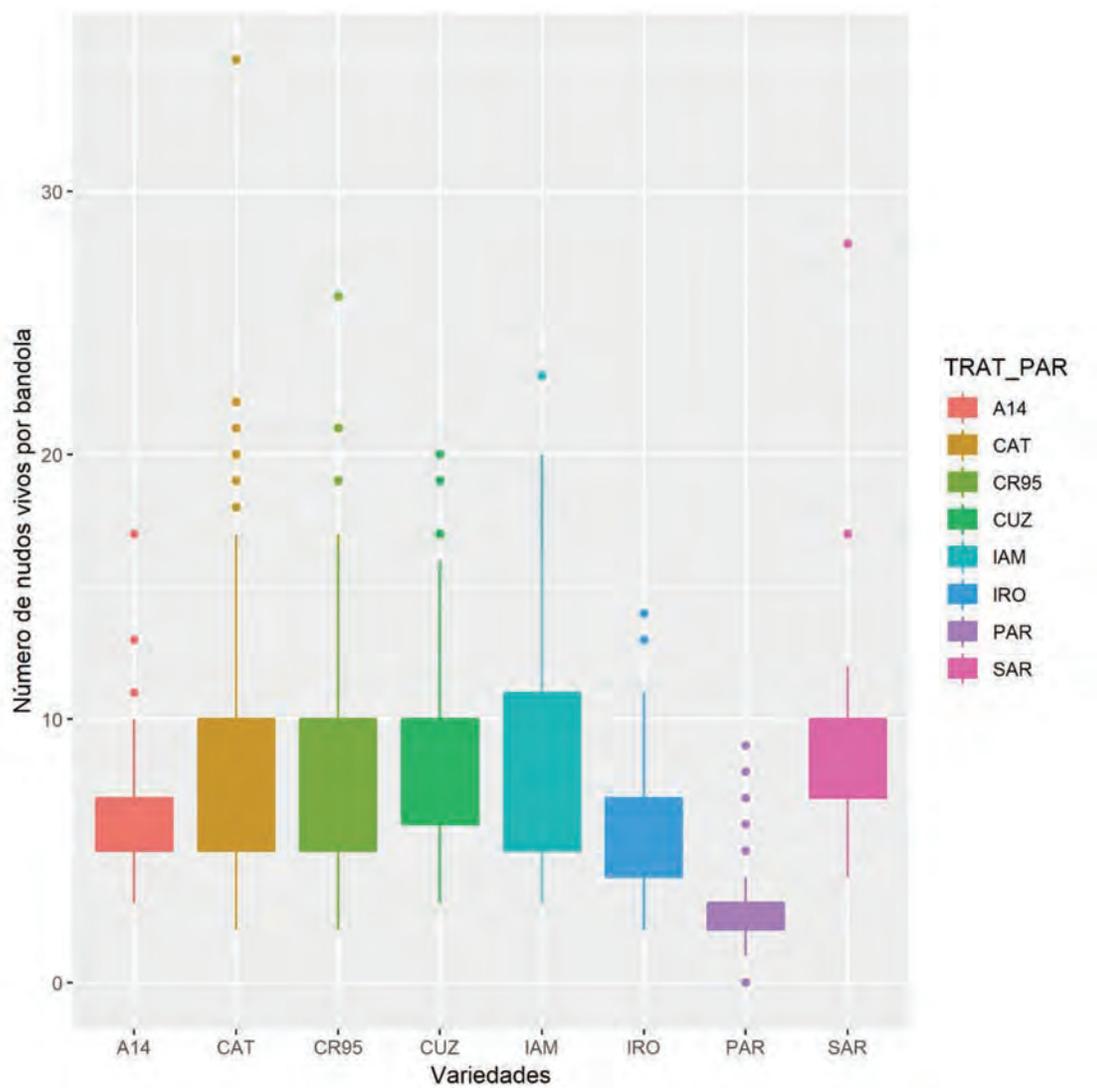
En El Salvador se evaluaron ocho variedades resistentes a la roya: i) Anacafé-14, ii) Catimor (Catisic), iii) Costa Rica 95, iv) Cuzcatleco, v) Icatú amarillo, vi) Icatú rojo, vii) Parainema y viii) Sarchimor. Las variedades Catisic y CR-95 fueron las que presentaron el mayor número de hojas con roya (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)

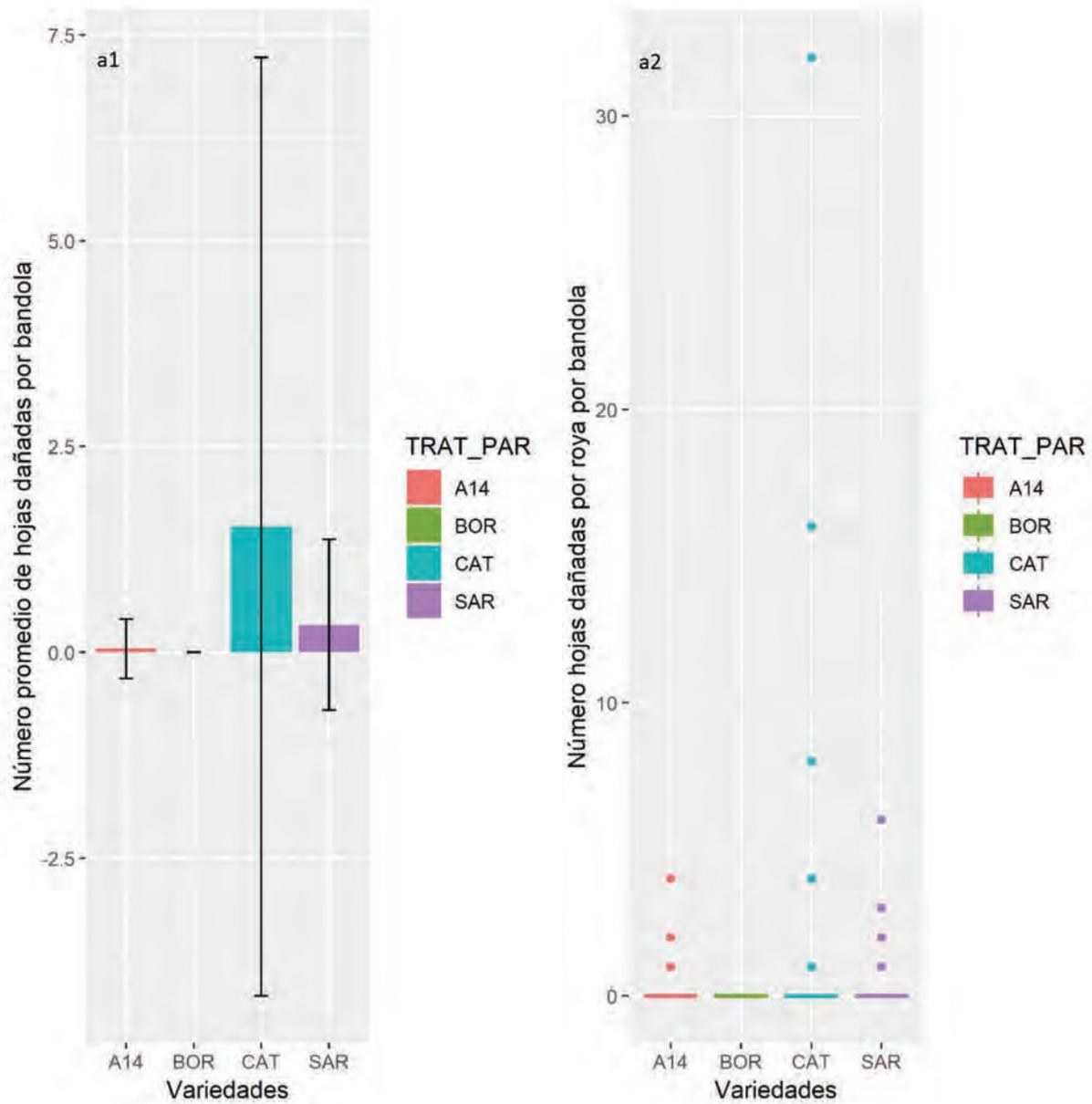


**Figura 9.** *Boxplot* del número de nudos vivos por bandola y variedad en cafetales de El Salvador, año 2019. Las líneas de los extremos de arriba y abajo de las cajas representan el 25% y el 75% cuartil, respectivamente. A14: Anacafé-14; CAT: Catimor, CR95: Costa Rica 95; CUZ: Cuzclateco; IAM: Icatú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

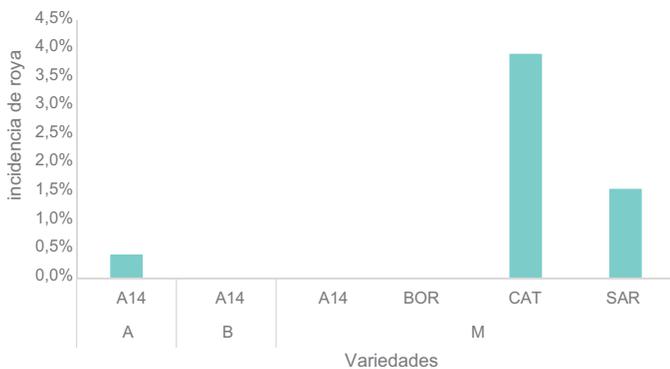
### ***Incidencia de roya en Guatemala***

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

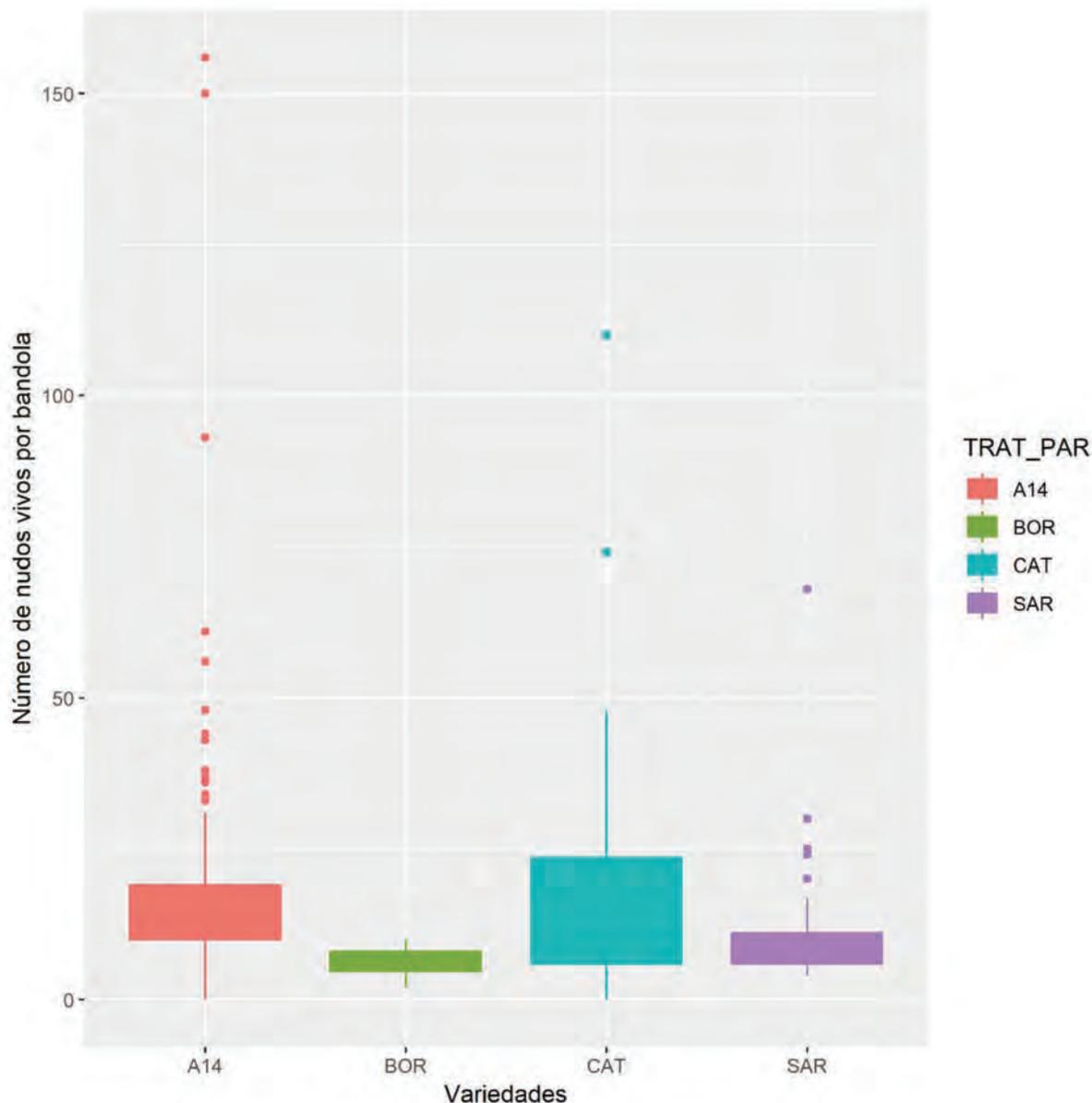
variedades de café resistentes a la roya: i) Anacafé-14, ii) Borbón (selección local), iii) Catimor y iv) Sarchimor. El porcentaje de incidencia de roya en el año de evaluación, estuvo en el rango de 0 al 4% (Figura 10). La variedad Catimor presentó el mayor número de hojas afectado por roya, así como 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

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

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

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
<b>1. Variedades de café mejoradas</b>	<b>El Salvador:</b> 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.
	<b>Guatemala:</b> Costa Rica 95, otros Catimores, Sarchimor, Anacafé 14 y Lempira	Tolerantes/resistentes a roya y muy buen vigor y productividad superando variedades susceptibles comerciales.
	<b>Honduras:</b> 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.
	<b>Nicaragua:</b> 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.
	<b>Costa Rica:</b> Centroamericano, Milenio, Obata, Costa Rica 95	Excelentes respuestas de tolerancia/resistencia a roya, tolerancia a sequía, con alta productividad.
<b>2. Controles de enfermedades</b>	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.
<b>3. Mecanización para manejo de sombra</b>	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.
<b>4. Regulación de sombra de árboles de servicio</b>	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.
<b>5. Cortinas rompevientos</b>	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.
<b>6. Manejo selectivo de hierbas del suelo</b>	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.
<b>7. Bioinsumos</b>	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.
<b>8. Cosecha de agua y riego</b>	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).