



**Memorias del curso
de formación virtual:
Agroforestería para la provisión
de servicios ecosistémicos a
escala de finca y paisaje con
énfasis en Café y Cacao**

05 de agosto - 27 de septiembre, 2024



International
Model Forest
Network

Canada 

Serie Red Latinoamericana de Bosque Modelo

Publicación N° 13

Memorias del curso de formación virtual: Agroforestería para la provisión de servicios ecosistémicos a escala de finca y paisaje con énfasis en Café y Cacao

05 de agosto - 27 de septiembre, 2024

Editores:

Luis Orozco Aguilar

René Jarquín Díaz

Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza

Turrialba, Costa Rica

2024

La memoria del curso virtual “Agroforestería para la provisión de servicios ecosistémicos a escala de finca y paisaje con énfasis en Café y Cacao” contiene una síntesis de las principales temáticas desarrolladas durante cada sesión. Cada ponente incluyó referencias bibliográficas que el lector podrá encontrar al final de cada tema, así como citas sugeridas para profundizar sobre la temática abordada.

This publication has been produced thanks to the financial support of the Government of Canada, through the Secretariat of the International Model Forest Network (IMFN Climate), and with the technical support of the Coffee and Cocoa Agroforestry and Genetic Improvement Unit of CATIE. The objective of the IMFN Climate project is to support the development of leadership in the forestry sector in the countries of Latin America and the Caribbean (LAC), with a particular focus on promoting the participation of women and youth. The aim of this course is to update the knowledge of agricultural landscape users to promote sustainable agroforestry systems that respond to the needs and preferences of producers or farm managers and in turn enhance the ecological and productive restoration of agricultural and forest landscapes.

Esta publicación ha sido producida gracias al apoyo financiero del gobierno de Canadá, a través de la Secretaría de la Red Internacional de Bosques Modelo – IMFN Climate, y con el respaldo técnico de la Unidad de Agroforestería y Mejoramiento Genético de Café y Cacao del CATIE. El objetivo del proyecto IMFN Climate es apoyar el desarrollo del liderazgo en el sector forestal en los países de América Latina y el Caribe (ALC), con un enfoque particular en promover la participación de mujeres y jóvenes. Con este curso, se pretende actualizar el conocimiento de los usuarios de paisajes agrícolas para fomentar sistemas agroforestales sostenibles que responden a las necesidades y preferencias de los productores o gerentes de fincas y a su vez potencian la restauración ecológica y productiva de paisajes agrícolas y forestales.

Cita sugerida:

Orozco-Aguilar, L; Jarquin Diaz Rene. 2024. Curso virtual de agroforestería para la provisión de servicios ecosistémicos a escala de finca y paisaje con énfasis en café y cacao: Informe de Memoria. Serie Red Latinoamericana de Bosques Modelo. No. 13. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 293 p.

Créditos

Editores:

Luis Orozco Aguilar

René Jarquín Díaz

Diseño y diagramación

Tecnología de Información y Comunicación, CATIE

Foto portada:

Vista aérea del ensayo agroforestal a largo plazo en sistemas agroforestales con café establecido en el CATIE en Turrialba, Costa Rica.

Índice de contenido

Presentación	7
Resumen ejecutivo	9
Modelos agroforestales y rol ambiental del cultivo de cacao en LAC Luis Orozco Aguilar, PhD.	13
Potencial de la agroforestería para la restauración ecológica a nivel paisaje Arlene López-Sampson, PhD.	27
Servicios ecosistémicos en café y cacao a nivel de finca y paisaje Rolando Cerda, PhD.	43
Modelos agroforestales y rol ambiental del cultivo de café en LAC Rolando Cerda, PhD.	54
Diversidad genética de cacao como base para el diseño de SAF sostenibles Bénédicte Rhoné, PhD.	70
Diversidad genética de café como base para el diseño de SAF sostenibles William Solano, PhD.	80
Diagnóstico y diseño del dosel de sombra (cacao, café, etc.) Luis Orozco Aguilar, PhD.	92
Enfoque de patosistema como base para el manejo integrado de plagas y enfermedades en SAF café y cacao Mariela E. Leandro Muñoz, PhD.	104
Arreglos de siembra y polinización para maximizar productividad Adriana Arciniegas Leal, MSc.	117
Rasgos funcionales para el diseño de doseles de sombra en café y cacao Cassio Pinheiro Edelstein, MSc.	127
Plataformas informativas y de planificación para la agroforestería y restauración agroecológica María José Borda, MSc.	137

¿Por qué es necesario tener una buena definición para fomentar el desarrollo agroforestal del cacao (y del café)? El caso del cacao en África	
Eduardo Somarriba, PhD.	146
Enfoque de caficultura regenerativa y resultados de estudios de largo plazo	
Elias de Melo Virginio Filho, Ph.D.	157
Plasticidad ecofisiológica del cacao	
Ramón E. Jaimez, Ph.D.	169
Fertilidad y balance de nutrientes en cacao y café	
Rolando Cerda, Ph.D.	181
Estrategia para la prevención y mitigación de riesgos	
Enelvi Brito Sosa, M.Sc.	192
Normativa EU-DR sobre cadenas de suministro libre de deforestación	
Luis Orozco Aguilar PhD	203
Shademotion como herramienta para el diseño de sistemas agroforestales	
Luis Orozco Aguilar, PhD.	216
Institucionalidad de la calidad de cacao como estrategia de posicionamiento y diferenciación de la región LAC	
Adriana Arciniegas Leal, MSc.	222
Estimación de carbono en sistemas agroforestales y pago por servicios ambientales	
Rolando Cerda, PhD.	233
El rol de los sistemas agroforestales (SAFS) en programas REDD+	
Chelsia Moraes, MSc.	243
Recursos y herramientas para la enseñanza y adaptación al cambio climático	
Viviana Medina Rodríguez, PhD.	255
Rol de café y cacao en la cobertura en paisajes productivos	
Arlene López-Sampson, PhD.	271
Sesión de cierre del curso	
Luis Orozco Aguilar, PhD.	286
ANEXOS	291

Presentación

La agroforestería cubre más de mil millones de ha (ha) a nivel mundial y al menos doscientos millones en Latinoamérica y el Caribe (LAC). Existen muchos tipos de sistemas agroforestales con cultivos anuales y perennes y con animales, incluyendo sistemas silvopastoriles, huertos caseros y sistemas con cultivos anuales y perennes. Entre los sistemas agroforestales con cultivos perennes, los cafetales y cacaoales agroforestales cubren más de 5 millones de ha y cerca de 2 millones de ha en LAC, respectivamente. Millones de familias rurales, cientos de organizaciones de productores y también las industrias dependen directa o indirectamente de estos cultivos.

En la Unidad de Agroforestería Mejoramiento Genético de Café y Cacao del CATIE trabajamos con tres objetivos principales: 1) Contribuir al diseño y manejo de sistemas agroforestales diversificados y sostenibles para la provisión de servicios ecosistémicos en beneficio de familias y sus fincas, el paisaje y los territorios y 2) Generar materiales promisorios (variedades: híbridos, clones) de café y cacao para el uso y beneficio socioeconómico de las familias rurales y otros actores de la cadena y aprovechar la riqueza genética conservada en las colecciones internacionales de germoplasma de café y cacao del CATIE y 3) Desarrollar materiales de enseñanza para técnicos, académicos, profesionales y productores que contribuyen con el fortalecimiento de las capacidades técnicas para cultivar café y cacao en sistemas agroforestales y para valorar la provisión de servicios ecosistémicos a escala de finca y paisaje.

Este curso de actualización profesional combina la experiencia de CATIE en ejecución de proyectos y la agenda de investigación y experimentación en café en Latinoamérica para proporcionar los principios, conceptos y herramientas para el diagnóstico y diseño agroforestales a nivel de finca, maximizando la provisión de servicios ecosistémicos clave como el secuestro de carbono, la polinización, balance de nutrientes, producción diversificada, hábitat para la biodiversidad y la conectividad de paisajes agrícolas.

La meta de la Red Latinoamericana de Bosques Modelo (RLABM) es apoyar a los usuarios de los paisajes agrícolas de Latinoamérica y el Caribe (LAC) a comprender de manera más integral el potencial que tiene la agroforestería con cultivos perennes como café y cacao en la producción diversificada, la provisión de servicios ecosistémicos, la restauración y conectividad ecológica y los medios de vida de miles de familias rurales.

Con este curso, la RLABM pretende pretender actualizar el conocimiento de los usuarios de paisajes agrícolas sobre la institucionalidad, retos, enfoques de diseño, ámbitos de gestión y abordajes metodológicos, importantes para la planificación y el fomento de sistemas agroforestales sostenibles que responden a las necesidades y preferencias de los productores o gerentes de fincas y a su vez potencian la restauración ecológica y productiva de paisajes agrícolas y forestales.

Luis Orozco Aguilar, PhD.
Coordinador técnico

Resumen ejecutivo

El curso virtual “Agroforestería para la provisión de servicios ecosistémicos a escala de finca y paisaje con énfasis en Café y Cacao”, llevado a cabo del 05 de agosto al 27 de septiembre del 2024 por la Unidad de Agroforestería y Mejoramiento Genético de Café y Cacao del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), contó con la participación de 232 personas de diversos países de América Latina y el Caribe. El objetivo principal del curso fue actualizar los conocimientos sobre el diseño y manejo de sistemas agroforestales en cultivos de café y cacao, promoviendo la sostenibilidad ambiental y el fortalecimiento de los medios de vida de las familias rurales.

El curso se estructuró en 24 sesiones, cada una impartida por expertos en agroforestería, restauración ecológica, y cambio climático, quienes ofrecieron una combinación de conceptos teóricos, estudios de caso y herramientas prácticas. Para facilitar el acceso a los contenidos y permitir su revisión posterior, todas las sesiones fueron grabadas y publicadas en el canal de YouTube de la Red Latinoamericana Bosques Modelo¹, donde están disponibles para el público en general². Las 24 sesiones fueron organizadas en torno a cinco líneas temáticas fundamentales:

- 1. Provisión de Servicios Ecosistémicos:** En esta línea se destacaron los beneficios que los sistemas agroforestales aportan al medio ambiente y a la sociedad. Se analizó cómo estos sistemas promueven la captura de carbono, la regulación del ciclo hidrológico, la conservación de la biodiversidad, y la protección del suelo contra la erosión. Los participantes aprendieron sobre el valor de integrar árboles en cultivos de café y cacao para generar co-beneficios como la polinización, el control de plagas y el suministro de recursos maderables y no maderables.

¹ <https://www.youtube.com/@redlatinoamericanabosquesm6527>

² En el anexo 1 se presentan los enlaces de los videos grabados de cada sesión.

- 2. Agronomía y manejo integrado de plagas y enfermedades:** Esta temática abordó los desafíos fitosanitarios que enfrentan los sistemas de cultivo de café y cacao, especialmente frente a plagas como la broca del café, enfermedades como la roya y la moniliasis. Se discutieron las estrategias de manejo integrado que combinan métodos biológicos y culturales, así como la importancia de la biodiversidad para el control natural de plagas. El manejo de la sombra y las prácticas culturales fueron presentados como herramientas clave para reducir la incidencia de plagas y mejorar la salud de los sistemas de producción.
- 3. Diseño y planificación agroforestal:** Las sesiones dedicadas a esta línea exploraron diferentes modelos de sistemas agroforestales que se pueden adaptar a las condiciones locales y los objetivos de los productores, incluyendo el uso de herramientas digitales como Shademotion para facilitar este tipo de trabajos. Se presentaron metodologías para el diagnóstico agroforestal y el diseño de arreglos espaciales que maximicen la provisión de servicios ecosistémicos, al tiempo que se optimiza la productividad. Ejemplos de modelos exitosos en la región incluyeron la combinación de cacao con especies maderables en Nicaragua y la integración de árboles frutales en cafetales en Perú.
- 4. Adaptación y mitigación al cambio climático:** La agroforestería fue presentada como una estrategia clave para enfrentar los desafíos del cambio climático en los cultivos de café y cacao. Se discutió cómo los sistemas agroforestales pueden aumentar la resiliencia de estos cultivos frente a fenómenos extremos como sequías y lluvias intensas, al proporcionar microclimas estables y mejorar la retención de agua en el suelo. Además, se analizó el potencial de estos sistemas para contribuir a la mitigación del cambio climático a través del secuestro de carbono en la biomasa y el suelo.
- 5. Institucionalidad y normativas:** En este bloque se revisaron las políticas y normativas que influyen en la adopción y promoción de los sistemas agroforestales en América Latina y el Caribe. Se discutió la importancia de contar con un marco regulatorio que apoye la restauración de paisajes degradados y fomente la integración de prácticas sostenibles en las cadenas de valor de café y cacao. Los

participantes también analizaron ejemplos de iniciativas internacionales como el mecanismo REDD+ y los pagos por servicios ambientales (PSA), que buscan incentivar la conservación y la restauración ecológica a nivel de finca y paisaje.

El curso tuvo una asistencia promedio de 135 personas por sesión, lo que refleja el gran interés de los participantes en los temas abordados. Las primeras sesiones, centradas en los modelos agroforestales y los servicios ecosistémicos, fueron las que mayor participación registraron, lo cual evidencia la creciente demanda de conocimientos prácticos para implementar y gestionar estos sistemas en las áreas de intervención de los participantes. Las interacciones a través de sesiones de preguntas y respuestas permitieron un intercambio activo de experiencias entre los asistentes, enriqueciendo el aprendizaje colectivo.

Para elaborar el presente informe de memoria, se organizó el contenido abordado en cada una de las 24 sesiones del curso en seis secciones clave que facilitan el análisis y la consulta posterior:

- 1. Síntesis de la sesión:** Resumen de los contenidos más relevantes tratados en cada sesión.
- 2. Objetivo de la sesión:** Definición clara del propósito y enfoque central de cada tema.
- 3. Puntos clave abordados en la sesión:** Aspectos más destacados y aprendizajes clave de cada sesión.
- 4. Preguntas de evaluación:** En la mayoría de las sesiones corresponden a preguntas de opción múltiple al final de cada sesión, que permiten medir el aprendizaje adquirido por los participantes.
- 5. Conclusiones y reflexiones finales:** Reflexiones finales que invitan a profundizar en los temas discutidos.
- 6. Literatura citada y relacionada con el tema:** Referencias bibliográficas sugeridas para ampliar la comprensión de los temas tratados.

Con este informe, se busca no solo documentar los conocimientos compartidos y las discusiones participativas desarrolladas durante cada sesión, sino también, ofrecer un documento de referencia para aquellas personas interesadas en replicar, adaptar o profundizar en los conceptos, prácticas y enfoques presentados durante el curso con apoyo en la literatura relacionada con cada temática. Asimismo, se espera que facilite el networking a través de los contactos de cada uno de los especialistas que impartieron las sesiones, de manera que promueva la colaboración y el desarrollo de nuevas iniciativas en agroforestería en la región de Latinoamérica y El Caribe.

Modelos agroforestales y rol ambiental del cultivo de cacao en LAC

Luis Orozco Aguilar, PhD.
luisoroz@catie.ac.cr

Síntesis de la sesión

El cultivo de cacao representa una actividad que ocupa cerca de 10.75 millones de ha en todo el mundo distribuidas en aproximadamente de 10 millones de productores. Esto indica que la mayor parte de la producción se localiza en pequeñas fincas con áreas de cultivo menores a 1.5 ha, y un tercio de ellas cultiva cacao bajo sombra, lo que sugiere que más de la mitad de las áreas de cultivo se manejan con poco o nada de sombra a nivel global.

En términos de rendimiento promedio, este cultivo ha mostrado una preocupante tendencia a la estabilidad en las últimas cuatro décadas (700 kg ha⁻¹ año⁻¹), en cambio, la producción ha experimentado un notable crecimiento impulsado por la demanda mundial. Este aumento se debe fundamentalmente al cambio de uso de suelo para el establecimiento de nuevas plantaciones manejadas bajo un enfoque convencional, basado en la reducción de sombra y aplicación intensiva de insumos sintéticos, lo que ha provocado deforestación y degradación de tierras, especialmente en zonas de bosque tropical, lo que plantea serias interrogantes sobre la sostenibilidad de este modelo de producción.

Bajo este escenario, la integración de enfoques agroforestales en el modelo productivo de este tipo de cultivos, representa una solución, no solo para mejorar la productividad, sino también para contribuir a los esfuerzos de conservación de la biodiversidad, restauración de ecosistemas degradados, y adaptación y mitigación al cambio climático. No obstante, si bien los ensayos a largo plazo muestran que los sistemas agroforestales pueden sustentar la producción de cacao y otros cultivos a lo largo del tiempo, suelen rendir menos que los sistemas de monocultivo con poca sombra, lo que desincentiva la adopción.

Sin embargo, es importante tener en cuenta que las plantaciones diversificadas con diferentes arreglos de sombra, brindan importantes beneficios económicos provenientes de los productos asociados al cultivo principal, que van más allá de la producción de cacao, y que mejoran no solo la economía familiar, sino también la seguridad alimentaria y las estrategias de conservación y restauración de servicios ecosistémicos a escala de finca y paisaje.

Para lograr estos beneficios, es necesario enfatizar una mejor planificación y comprensión de los sistemas agroforestales, incluidos los diseños, la gestión de la sombra, manejo de tejidos, selección de especies arbóreas de acompañamiento, densidad de árboles, entre otros. Para afrontar estas necesidades, es crucial generar más investigación para optimizar las combinaciones de especies de árboles y comprender la dinámica a largo plazo de estos sistemas.

Objetivo de la sesión

- La sesión busca discutir los diferentes modelos agroforestales para el cultivo de cacao en Latinoamérica, analizando su impacto ambiental, productivo y su rol en la provisión de servicios ecosistémicos.

Puntos clave abordados en la sesión

Distribución global y expansión del cultivo de cacao:

- El cacao cubre aproximadamente 10.75 millones de ha a nivel mundial, involucrando a unos 10 millones de productores.
- A nivel global, el 45% del café y el 33% del cacao se cultiva bajo sombra, utilizando modelos agroforestales.
- En las últimas cuatro décadas, el rendimiento promedio del cacao se ha estancado en alrededor de 700 kg/ha/año. La expansión del cultivo ha resultado en la pérdida de 2.5-3 millones de ha de bosques tropicales.

Impacto ambiental del cultivo de cacao:

- En África y América Latina, la expansión del cacao ha contribuido a la deforestación y degradación de bosques (Figura 1).

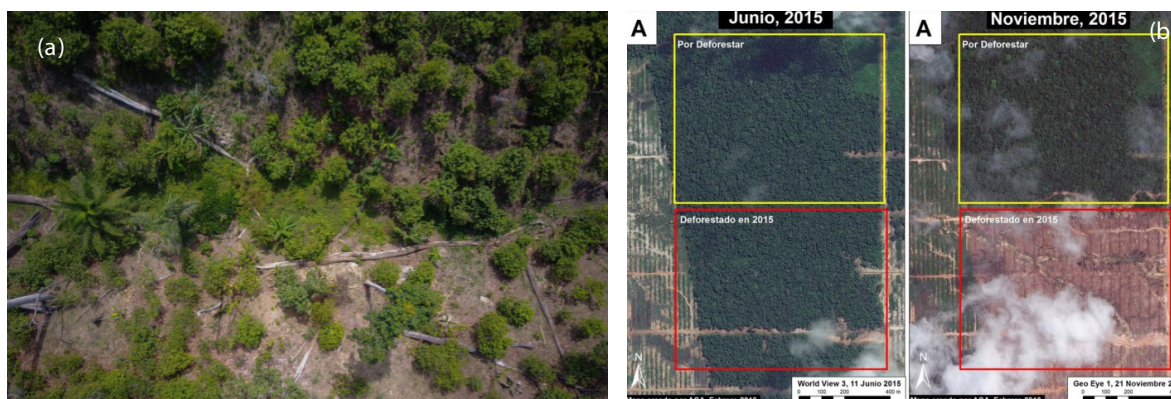
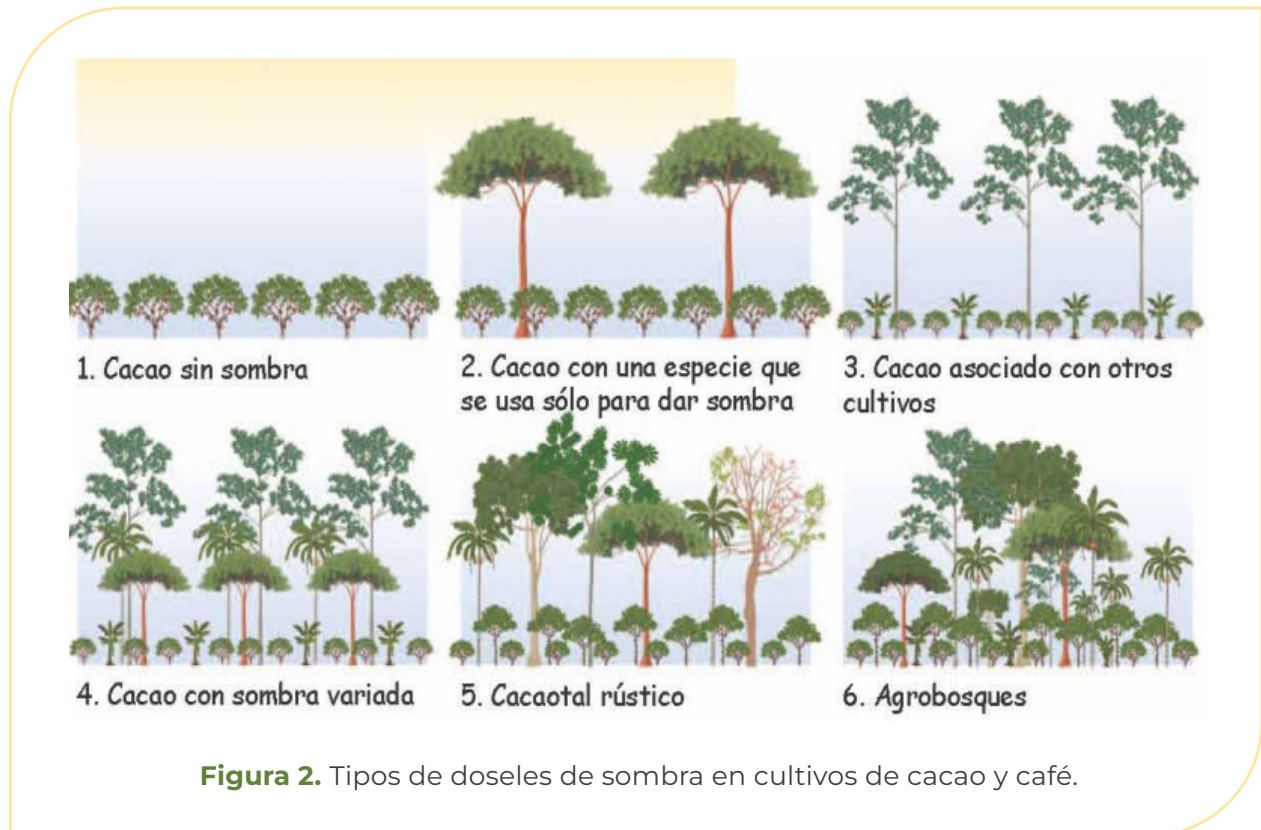


Figura 1. SPprocesos de deforestación asociados al cultivo de cacao. (a) África, (b) Amazonía

- A pesar de que existen diversos tipos de doseles de sombra que pueden revertir los procesos de deforestación asociados a este tipo de cultivos, la mayoría de los productores opta por los sistemas sin o con poca sombra para evitar reducción en los rendimientos del cultivo principal (Figura 2).



- Sin embargo, los modelos agroforestales diversificados pueden mejorar la biodiversidad y proporcionar múltiples beneficios ambientales más allá de la producción del cultivo principal.

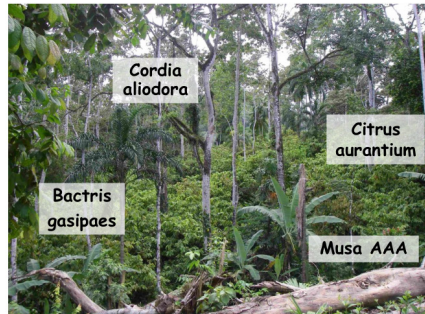
Modelos agroforestales en Nicaragua y Perú

- Se describen diversos modelos de sistemas agroforestales (SAF) para cacao en Nicaragua y Perú, que incluyen prácticas como la combinación de cacao con especies maderables o leguminosas.
- La elección del modelo agroforestal puede influir significativamente en la productividad, la biodiversidad y la prestación de servicios ecosistémicos. A continuación, se muestra una lista de diversos modelos agroforestales implementados en Latinoamérica con diferentes objetivos, propósitos, niveles de productividad e intensificación (Figura 3).
- Las figuras presentadas ofrecen una visión comparativa de diversos modelos agroforestales con cacao en varios países de la región. Cada modelo presenta particularidades únicas en cuanto a las variedades de cacao cultivadas, las especies de sombra utilizadas, la densidad de plantación, los regímenes de fertilización, el manejo de plagas y enfermedades, y los rendimientos obtenidos.
- Se observa una gran diversidad de sistemas de cultivo, lo que refleja la adaptación de los productores a las condiciones agroecológicas y socioeconómicas de cada sitio. Un elemento común en muchos de estos sistemas es la importancia de la sombra, proporcionada por árboles maderables, frutales o leguminosas. Esta práctica contribuye a regular la temperatura del suelo, protegerlo de la erosión, controlar el crecimiento de malezas y diversificar los ingresos de los productores.
- En cuanto a la fertilización, se combina el uso de fertilizantes químicos y orgánicos, con dosis y frecuencias que varían según las necesidades de cada cultivo e intensidad de manejo. La incidencia de plagas y enfermedades, como la moniliasis, la escoba de bruja y la mazorca negra, es un desafío común en la producción de cacao en la región, y su manejo requiere de estrategias de manejo integradas.
- Los rendimientos obtenidos varían considerablemente entre las regiones, lo que se explica por factores como la variedad de cacao, las condiciones climáticas, la calidad del suelo, el manejo del cultivo y la incidencia de plagas y enfermedades.

1

Talamanca, Costa Rica.

SAF-sombra mixta.
Nivel sombra: 55-60%.
Hasta 250 árboles/ha.
Híbridos: UF, ICS, IMC.
Densidad: 625 plantas/ha.
No fertilización/No podas.
Monilia: 45-60%.
Yield: 200-400 kg/ha.
(Deheuvels, 2011).



Santander, Colombia.

Cacao clonal, local.
Densidad: 1111/plantas/ha.
Asocio: *Eucalyptus deglupta*
(44 individuos/ha).
Arreglo: 5C : 1E.
Sombra: 30-35%.
Fertilización: 300 g/planta.
Mazorca negra: 15-20%.
Podas: 2 eventos anuales.
Yield: 900-1200 kg/ha.



- **Honduras**
- Cacao clonal-FHIA.
- Densidad: 1111 plantas/ha.
- Fertilización química (300-600 g/planta).
- Dos podas anuales.
- Sombra: 45-55%, *Terminalia* suberba.
- Total: 75 árboles/ha.
- Rendimiento 700-1000 kg/ha.
- Monilia: 10-15%.



Figura 3. Modelos agroforestales implementados en Latinoamérica y el Caribe con diferentes niveles de productividad e intensidades de manejo.

2



- **Jamaica-Cacao + Coco**
- Coco: 156 palmas/ha.
- El coco resiste vientos fuertes/huracanes.
- Híbridos y material local.
- Densidad cacao: 625-833 plantas/ha.
- Poca/nula fertilización.
- Sombra: 35-40%.
- Cacao no se poda.
- Ratras: 40% afectación.
- Yield: 500-700 kg/ha.



- **Ecuador**
- Cacao a pleno sol.
- CCN-51.
- Fertilización química (2 kg/planta).
- Alta densidad (1250-1500 plantas/ha).
- Poda mecanizada.
- Riego/Fertirriego.
- Drenajes + Encalados.
- Escoba de bruja: 2-7%
- Yield: 2500 kg/ha.



- **Amazonia Peruana, Tamshiyacu Loreto**
- SAF-Cacao (1700 ha).
- CCN-51 + Híbridos + EET.
- Densidad: 1111 plantas/ha.
- Sombra mixta (25-30%).
- Total: 90-130 árboles/ha.
- Linderos/Cortinas
- Fertilización química (400-500 g/planta).
- Podas: 3 eventos anuales.
- Drenaje y encalado.
- Enfermedades: 10-15%.
- Yield: 1000-1200 kg/ha.

3



- **Talamanca, Costa Rica**
- Híbridos (UF/ICS, IMC).
- Densidad: 833 plantas/ha.
- Dos podas anuales.
- Fertilización química (100-150 g/planta).
- Sombra: 50-55%.
- *Inga edulis* (276 árboles/ha). Raleo 50%.
- Rendimiento: 600-700 kg/ha.
- Incidencia monilia: 40-45%



- **Cacao-Oro, RAAN-NIC**
- Finca comercial 2000 ha.
- UF + Clones Hugo-CR + CCN51 + clones CATIE.
- Densidad: 1111 plantas/ha.
- Fertilización química (350-400 gr/planta).
- Sombra: Pioneras + maderables: 25-35%.
- Total= 80 – 120 árboles/ha.
- Riego en ciertas zonas.
- Poda: 3-4 eventos anuales.
- Mazorca negra: 15-20%.
- No hay monilia.
- Yield: 700-1200 kg/ha.



- **Bocas del Toro, Panamá**
- Híbrido (UF, ICS, IMC).
- Densidad: 1111 plantas/ha
- Fertilización química (100-150 gr/planta).
- Dos podas anuales.
- Sombra: *C. alliodora*.
- Densidad: 138 árboles/ha, raleo: 25%.
- Nivel sombra: 40-45%.
- Rendimiento: 700-900 kg/ha.
- Monilia: 30-40%

4

Chimelb, Lanquin, Alta Verapaz, Guatemala.

Clones: CATIE, FHIA y Chimelb.

Sombra: Hule: 25-30%.

Hule: 68 árboles/ha.

Arreglo: 5C : 1H

Densidad: 1111 plantas/ha.

Fertilización: 250 g/planta.

Poda: 2 eventos anuales.

Monilia: 5-10%.

Yield: 800-1000 kg/ha.

www.12tree.de/portfolio



- **San Martin, Perú (Alianza Cacao).**
- Cacao: CCN51. Otros con ICS, TSH, UF y VRAE-15.
- Densidad: 1200/plantas/ha.
- SAF: Capirona, tornillo y bolaina, cortinas y linderos.
- Sombra: 30-35%.
- Fertilización-NIPO: 350 kg guano de isla, 100 kg sulfato de potasio, magnocal 110 kg, ulexita 30kg, sulfato de cobre 1.5 kg, sulfato de manganeso 1.5 kg; 3 veces por año.
- Enfermedades: 5-15%.
- Yield: 1200-2000 kg/ha.

- Después de este repaso, se enfatizó que la comprensión y optimización de estos modelos de producción requiere de estudios más detallados que permitan identificar las mejores prácticas de manejo para cada localidad que permiten aumentar las interacciones positivas y reducir las negativas.

Servicios ecosistémicos en SAF-Cacao:

- Estudios en Centroamérica han demostrado que los cacaotales con sombra diversa tienen una mayor biodiversidad de especies arbóreas y pueden albergar una mayor cantidad de polinizadores.
- Por otro lado, los sistemas agroforestales de cacao en Centroamérica generan beneficios económicos significativos para las familias que van más allá de la producción del cultivo principal, gracias a la diversificación de subproductos como frutas, madera, plátano, banano, pejibaye, entre otros.
- Por ejemplo, algunas experiencias en Nicaragua destacan por un valor económico considerablemente mayor, indicando un uso más efectivo de estos subproductos. Estos sistemas no solo mejoran el ingreso familiar mediante el autoconsumo y las ventas, sino que también incrementan la resiliencia económica y la sostenibilidad de las familias rurales.
- Los sistemas agroforestales también contribuyen al secuestro de carbono, con cacaotales que almacenan entre 2 y 4 toneladas de carbono por hectárea por año en la biomasa aérea (Figura 4).

Cuadro 3. Carbono almacenado en los cacaotales de Centroamérica (en toneladas por hectárea)

Compartimento	Nicaragua	Honduras	Guatemala Alta Verapaz	Costa Rica	Panamá	Guatemala Costa Sur	Promedio
Suelo	48	33	53	49	57	64	51
Biomasa aérea	33	45	39	53	57	74	49
Raíces gruesas	7	9	7	9	12	13	9
Raíces finas	4	1	1	2	2	2	2
Ramas secas	0.3	6	5	7	4	0.3	4
Hojarasca	0.3	0.8	0.4	1	0.9	4	1.1
Total	93	96	106	122	132	155	117
Edad	20	20	18	25	27	31	24
Tasa de C (toneladas de carbono/hectárea/año)	2	3	3	3	2	4	3

Biomasa aérea: son todos los árboles de cacao, frutales, maderables, palmas, bananos, plátanos, arbustos y otras plantas

Nota: estos datos son promedios de 35-40 cacaotales por cada país

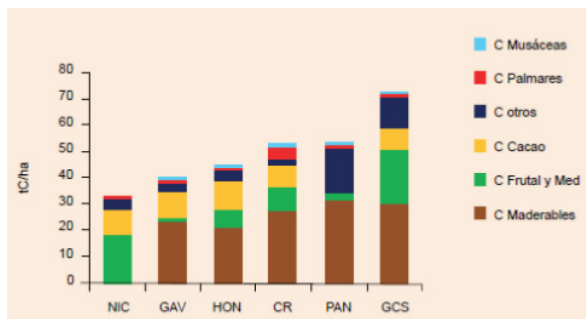


Figura 4. Almacenamiento/Secuestro de carbono en SAF-Cacao

- Los sistemas agroforestales desempeñan un papel crucial en restaurar y mejorar la salud y calidad de los suelos al favorecer la vida microbiana y promover el reciclaje de nutrientes y la adición de materia orgánica. Esto se evidencia con datos que provienen de diferentes ensayos agroforestales en Centroamérica.
- Existe amplia evidencia en toda la región de Latinoamérica y el Caribe que respalda el potencial que tienen los SAF con cacao para la generación de servicios ecosistémicos a través de la generación de conocimiento, validación de prácticas, sistemas de manejo y recomendaciones derivadas de un sin número de ensayos a mediano y largo plazo establecidos en diferentes puntos de la región. No obstante, aún existen brechas en la agenda de investigación regional, principalmente vinculadas a la fisiología del cultivo, diversidad de servicios ecosistémicos y desempeño financiero de los sistemas bajo sombra (Orozco-Aguilar et al., 2024).

Recomendaciones para la gestión y manejo sostenible del cultivo de cacao bajo SAF

- El uso de modelos agroforestales diversificados puede aumentar la provisión de servicios ecosistémicos, pero se debe encontrar un equilibrio entre la productividad del cacao y la conservación ambiental.
- Generalmente, los rendimientos de cacao suelen ser mayores cuando la cobertura arbórea y el área basal de madera estaban por debajo del 40% y 12 m², respectivamente (Figura 5).
- Para maximizar la productividad en sistemas agroforestales de cacao como el FHIA, es recomendable implementar medidas de manejo que controlen la incidencia de enfermedades a medida que las plantas envejecen. Esto puede incluir prácticas como la poda regular, el monitoreo constante y el uso de variedades resistentes. Además, considerar la renovación de plantaciones después de ciertos años puede ayudar a mantener un rendimiento óptimo.

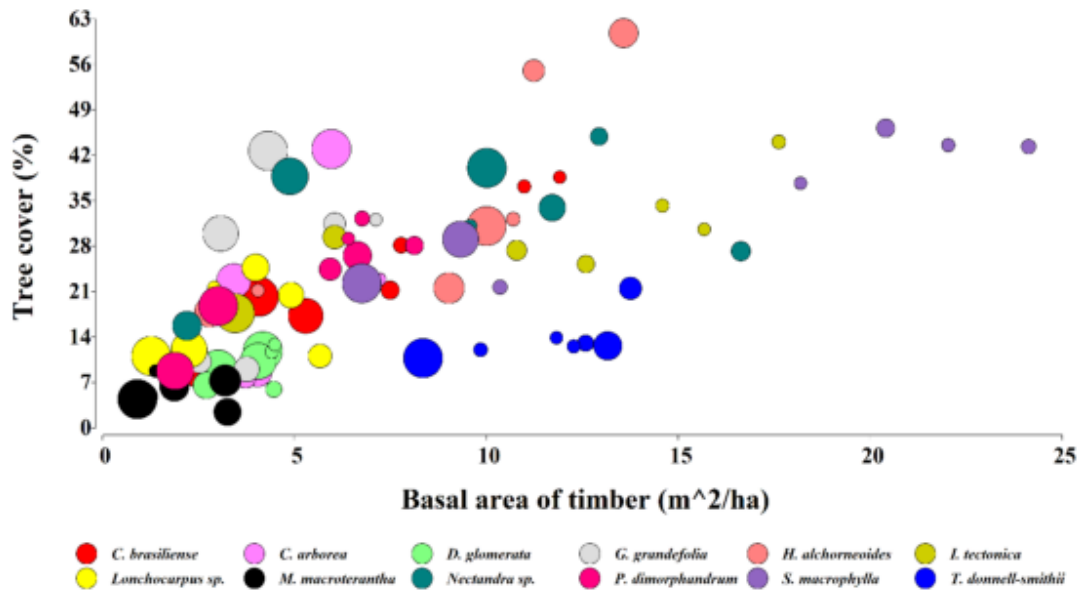


Figura 5. Efectos combinados de la cobertura arbórea (%) y el área basal de madera (m²/ha) sobre los rendimientos de cacao (a mayor tamaño del círculo, mayor rendimiento) en 12 sistemas agroforestales basados en madera en el sitio experimental “CEDEC-JAS, La Masica, Atlántida, Honduras (Fuente: Ramírez Argueta et al., 2022).

- La sesión destacó que es crucial investigar e implementar prácticas de manejo integrado, como la regulación de la sombra, la poda, y el uso de fertilizantes, para optimizar tanto la productividad del cacao como la salud ambiental.
- Para optimizar el manejo de sombra en sistemas agroforestales, es recomendable utilizar nomogramas específicos para cada especie. Esto permitirá ajustar la densidad y distribución de los árboles según el tamaño de la copa para lograr la cobertura deseada, mejorando así el microclima y la productividad del cultivo.

Conclusiones y reflexiones finales

Se destacó la importancia de adoptar enfoques agroforestales sostenibles para el cultivo de cacao, que promuevan la conservación de la biodiversidad y el secuestro de carbono, al tiempo que se mantienen niveles aceptables de productividad. La sesión terminó con un espacio de preguntas y respuestas, donde los participantes discutieron y reflexionaron temas como la viabilidad de integrar el cacao y el café, el papel de la agroforestería en los mercados de carbono, el uso de herramientas tecnológicas para diseño, gestión y manejo de sistemas agroforestales y la necesidad de programas de mejoramiento genético más amplios para el cacao.

Preguntas de evaluación

1	A nivel global, se estima que menos de la mitad del área cultivada de café y cacao se maneja con sombra y/o sistemas agroforestales. <input type="checkbox"/> Verdadero <input type="checkbox"/> Falso
2	Durante las últimas 4 décadas, la productividad media del cacao ha mejorado sustancialmente y se estima en unos 1000 kg/ha anuales. <input type="checkbox"/> Verdadero <input type="checkbox"/> Falso
3	La expansión del cultivo de cacao con el fin de atender la demanda creciente del grano ha sido responsable de eventos de deforestación en África y Latinoamérica. <input type="checkbox"/> Verdadero <input type="checkbox"/> Falso
4	Existen al menos ocho modelos o tipologías de SAF-cacao en el mundo. <input type="checkbox"/> Verdadero <input type="checkbox"/> Falso
5	Según los resultados de los ensayos de largo plazo de SAF-Cacao, se estima que el nivel de cobertura arbórea (%) recomendado para producir de forma sostenible es de entre 30-40%. <input type="checkbox"/> Verdadero <input type="checkbox"/> Falso

Literatura citada y relacionada con el tema

- Andrade, H.J., & Segura, M.A. (2016). Dinámica de la sombra de *Cordia alliodora* en sistemas agroforestales con café en tolima, Colombia. *Agronomía Costarricense*, 40(2), 77-86. <https://doi.org/10.15517/rac.v40i2.27387>
- Orozco-Aguilar, L., Lopez-Sampson, A., Cerda, R. H., Casanoves, F., Ramirez-Argueta, O., Diaz Matute, J., Suárez Salazar, J. C., Rüegg, J., Saj, S., Milz, J., Schneidewind, U., Mora Garces, A., Baez Daza, E., Rojas Molina, J., Jaimes Suarez, Y., Agudelo-Castañeda, G. A., Deheuvels, O., Brito Sosa, E., Gómez, J. H., ... Somarriba, E. (2024). CacaoFIT: The network of cacao field trials in Latin America and its contribution to sustainable cacao farming in the region. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 8. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2024.1370275>
- Orozco-Aguilar, L., López-Sampson, A., Leandro-Muñoz, M. E., Robiglio, V., Reyes, M., Bordeaux, M., Sepúlveda, N., & Somarriba, E. (2021). Elucidating Pathways and Discourses Linking Cocoa Cultivation to Deforestation, Reforestation, and Tree Cover Change in Nicaragua and Peru. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 5. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2021.635779>
- Ramírez Argueta, O. A., Orozco Aguilar, L., Díaz Matute, J., Dubón, A., Sánchez, J. A., & Casanoves, F. (2022). *Timber growth, cacao yields, and financial revenues in a long-term experiment of cacao agroforestry systems in northern Honduras*. <https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/12086>
- Somarriba, E. (2004). *¿Cómo evaluar y mejorar el dosel de sombra en cacaotales?* <https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/6941>
- Somarriba, E., Saj, S., Orozco-Aguilar, L., Somarriba, A., & Rapidel, B. (2023). *Shade canopy density variables in cocoa and coffee agroforestry systems*. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-2648919/v1>
- Somarriba, E., Zamora, R., Barrantes, J., Sinclair, F. L., & Quesada, F. (2023). *ShadeMotion: Tree shade patterns in coffee and cocoa agroforestry systems*. *Agroforestry Systems*, 97(1), 31-44. <https://doi.org/10.1007/s10457-022-00784-1>

Potencial de la agroforestería para la restauración ecológica a nivel paisaje

Arlene López-Sampson, PhD.

lopeza@catie.ac.cr

Síntesis de la sesión

La agroforestería se presenta como una estrategia clave en la restauración de ecosistemas, particularmente en paisajes dominados por actividades humanas, como la agricultura, ganadería y silvicultura. Bajo ese marco, la sesión 2 expuso varios conceptos fundamentales, prácticas, enfoques y experiencias para promover la restauración de paisajes degradados y mejorar los servicios ecosistémicos a través de la agroforestería.

La sesión inició definiendo la degradación como la pérdida de la capacidad de los ecosistemas de brindar servicios esenciales, causada principalmente por actividades humanas como la deforestación y el uso intensivo del suelo. Se destacó que la degradación de tierras implica una pérdida de funcionalidad tan severa que sobrepasa la capacidad de recuperación natural. Como respuesta a este problema, se introdujo la restauración ecológica como el proceso de asistir a los ecosistemas degradados para recuperar su funcionalidad y así continuar proveyendo servicios ecosistémicos. Estos servicios, esenciales para el bienestar humano, son los beneficios que obtenemos de la naturaleza gracias a las funciones de los ecosistemas, las cuales dependen directamente de la biodiversidad.

Para revertir los procesos de degradación y pérdida de la biodiversidad, se presentaron dos enfoques principales: la restauración pasiva y la restauración activa. La restauración pasiva implica permitir la recuperación natural de los ecosistemas al eliminar las fuentes de perturbación. En cambio, la restauración activa, involucra intervenciones humanas deliberadas para acelerar la recuperación. En ese marco, la agroforestería se presentó como una estrategia para asistir ambos enfoques, especialmente en áreas donde se busca integrar árboles en sistemas agrícolas para mejorar la cobertura forestal y promover la biodiversidad.

La sesión finalizó reflexionando sobre como los sistemas de uso de la tierra basado en prácticas agroforestales, se posicionan como una solución integral para la restauración ecológica, proporcionando beneficios a nivel de finca, paisaje y global, tales como la regulación del agua, la mitigación del cambio climático y la mejora de la conectividad del hábitat. Por último, se enfatiza que la implementación de estrategias de restauración basadas en estas prácticas, requiere una planificación cuidadosa, que considere tanto las condiciones ecológicas, herramientas tecnológicas disponibles, así como las necesidades socioeconómicas de las comunidades locales.

Objetivo de la sesión

- La sesión tuvo como objetivo explorar el papel de la agroforestería en la restauración ecológica de paisajes, destacando su capacidad para restaurar la funcionalidad de los ecosistemas degradados, promover la biodiversidad y mejorar la provisión de servicios ecosistémicos en áreas afectadas por actividades humanas, como la agricultura y la deforestación.

Puntos clave abordados en la sesión

Introducción a conceptos clave relacionados con la sesión

- **Degradación:** Se define como la pérdida de funcionalidad de los ecosistemas debido a actividades humanas como la tala, quema, y cambio de uso del suelo. Estos procesos pueden llevar a la pérdida de biodiversidad y la capacidad de los ecosistemas para proporcionar servicios esenciales (Figura 6).



Matt Zimmerman/Flickr



WWF.

La acumulación de perturbaciones en el bosque (como la quema y la tala) provocan la degradación del Amazonas, que entre 1992 y 2014 superó la deforestación en cuanto a superficie afectada. Crédito de la imagen: [Bruno Kelly/Amazônia Real](#), bajo licencia [Creative Commons 2.0](#)



Figura 6. Procesos de degradación inducidos por actividades humanas.

- **Restauración ecológica:** Se refiere al proceso de ayudar a la recuperación de un ecosistema que ha sido degradado, dañado o destruido. No siempre busca restaurar los ecosistemas a un estado histórico, sino más bien a un estado en el que puedan proporcionar beneficios esenciales y mantener su funcionalidad.
- **Servicios ecosistémicos:** Son los beneficios que las personas obtienen de los ecosistemas. Incluyen servicios de aprovisionamiento (como alimentos y agua), regulación (como el control de la erosión y la regulación del clima), culturales (como el turismo y los valores estéticos), y de soporte (como la formación de suelo y el ciclo de nutrientes) y que a su vez se relacionan con los componentes del bienestar (Figura 7).



Figura 7. Clasificación de los servicios ecosistémicos y componentes del bienestar (Fuente: MEA, 2005).

- **Componentes del bienestar:** Son aquellos aspectos que contribuyen a nuestra calidad de vida y satisfacción personal. Estos componentes incluyen:
 - Seguridad: Sentirse protegido y tener acceso a los recursos necesarios para vivir.
 - Salud: Tener buena salud física y mental.
 - Buenas relaciones sociales: Sentirse conectado con los demás y formar parte de una comunidad.
 - Libertad de elección y acción: Tener la capacidad de tomar decisiones y perseguir nuestros objetivos.
- La agroforestería puede mejorar la provisión de estos servicios, especialmente en paisajes agrícolas, ganaderos y silvícolas.

La agroforestería como herramienta de restauración

- La sesión distinguió entre dos enfoques de restauración:
 1. La restauración pasiva implica la eliminación de perturbaciones humanas, permitiendo que los procesos naturales de sucesión ecológica restauren el ecosistema. Un ejemplo presentado fue la regeneración natural en Yucatán, México, donde la eliminación de la agricultura permitió que el bosque seco se recuperara naturalmente (Figura 8a).
 2. La restauración activa, por otro lado, implica intervenciones humanas directas, como la reconfiguración del terreno y la plantación de especies nativas, como se mostró en un ejemplo de restauración de un sitio de minería de carbón en Australia (Figura 8b).



Figura 8. (a) Regeneración natural de 3 años de edad en un sitio del bosques seco, Yucatán México, previamente usado para agricultura, (b) Una antigua mina de carbón de unos 7 años de antigüedad en Queensland, Australia, restaurada para convertirla en un bosque de eucaliptos mediante la recontorneación de la topografía, la siembra y plantación de especies nativas y la fertilización.

- Se destacó cómo la agroforestería puede integrarse en paisajes degradados para mejorar la biodiversidad y restaurar la funcionalidad ecológica. Los sistemas agroforestales, como los que combinan café y cacao con árboles de sombra, pueden mitigar los efectos negativos de la agricultura intensiva, mejorar la conectividad del hábitat y proporcionar co-beneficios como la mejora del suelo y la regulación hídrica. Se presentó la “Escalera de la Restauración”, una herramienta conceptual para decidir las prácticas de restauración basadas en el nivel de degradación del ecosistema (Figura 9).
- La figura ilustra que los enfoques para restaurar la funcionalidad en los ecosistemas forestales dependen en gran medida del estado inicial de la degradación del bosque o la tierra y del resultado deseado, el marco temporal y las limitaciones financieras (Chazdon, 2008).

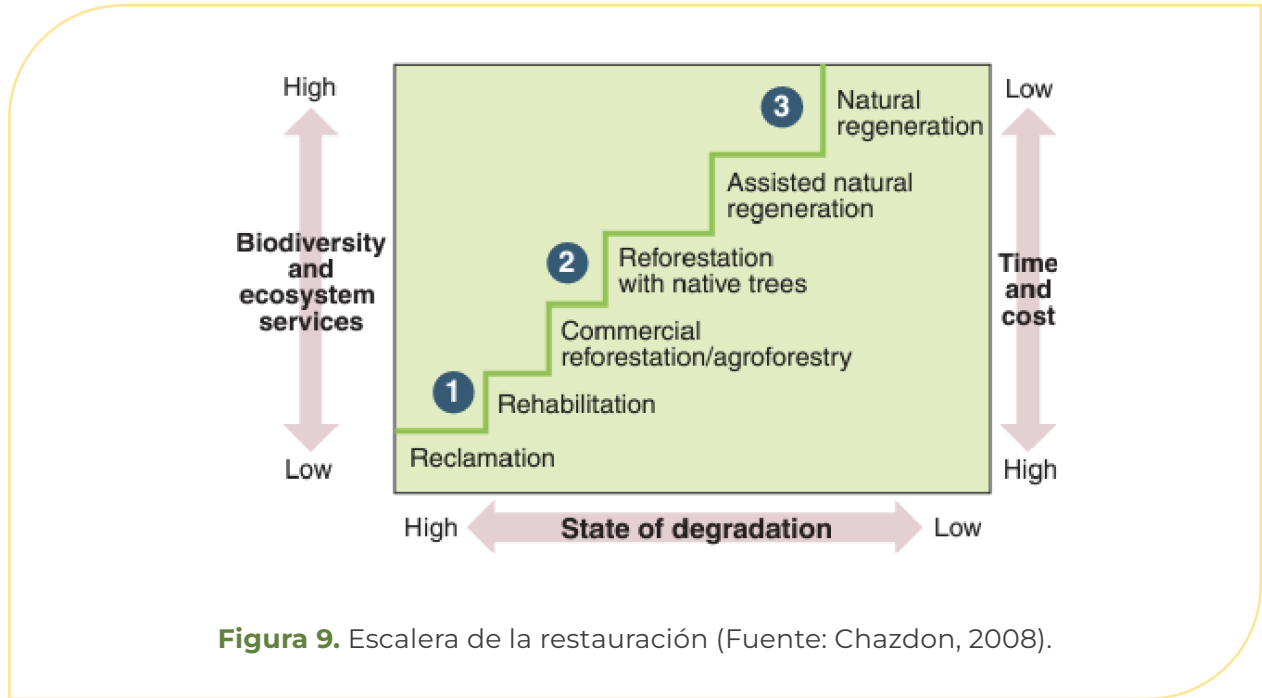
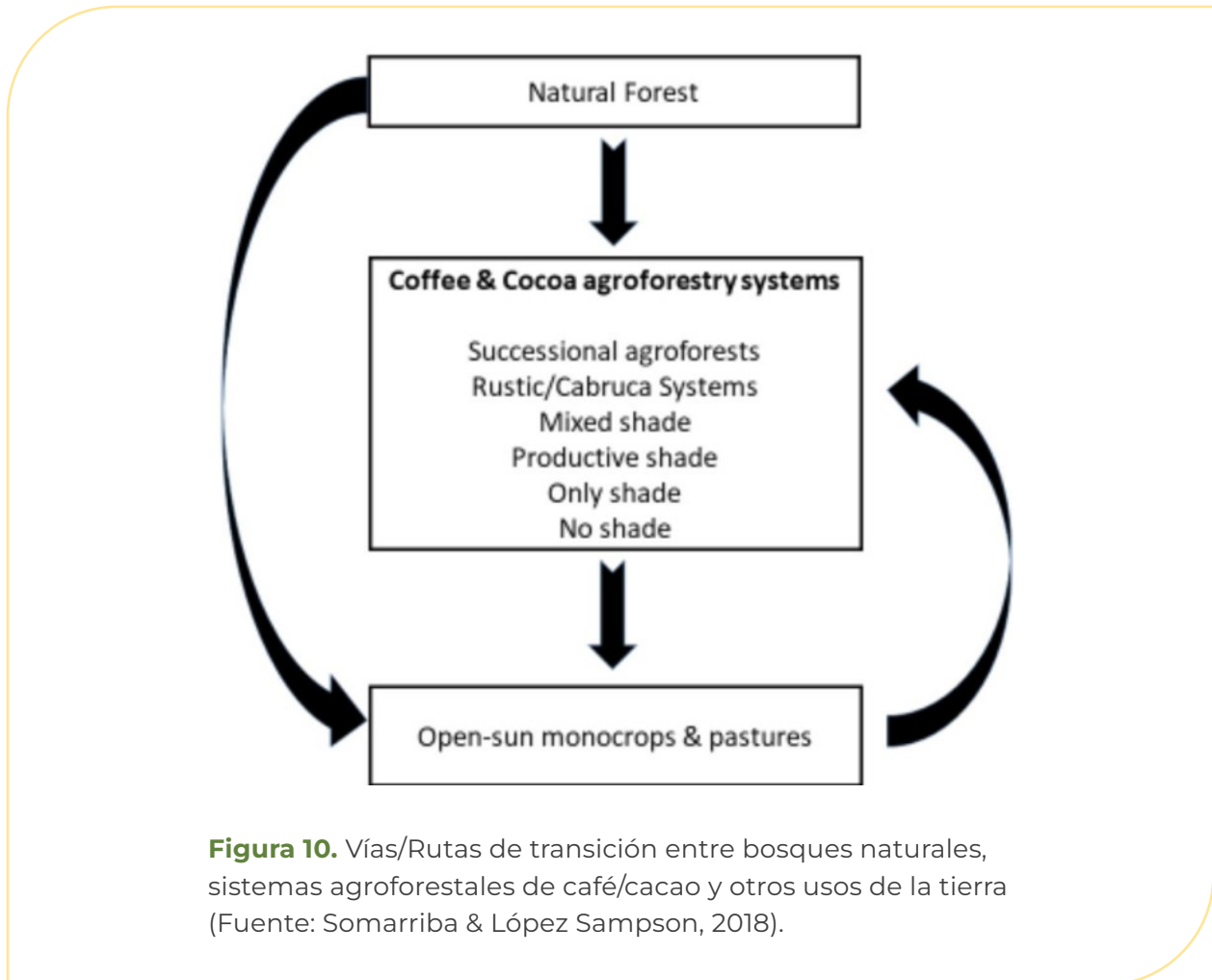


Figura 9. Escalera de la restauración (Fuente: Chazdon, 2008).

- Los enfoques de restauración deben tener en cuenta la distribución espacial, la abundancia y la calidad de la vegetación residual, un fuerte indicador del potencial de regeneración natural. Así como los procesos del ecosistema forestal declinan de manera gradual con el aumento de los impactos humanos, los enfoques de restauración pueden “elevar” un ecosistema forestal degradado o completamente alterado a un nivel más alto de la escalera de restauración.
- Por otro lado, la agroforestería, con cultivos como el café y cacao, ofrecen opciones que han sido ampliamente documentadas para generar paisajes más diversos y brindar oportunidades para la integración de árboles que tengan funciones más allá de la provisión de sombra para el cultivo principal. En la figura 10 se muestra la gradiente de integración de la cobertura arbórea en sistemas agrícolas.



Ejemplos prácticos de aplicación de la agroforestería en estrategias de restauración

- **Caso de Colombia y Ghana:** La presentación mencionó estudios de caso en Colombia, donde la integración de sistemas agroforestales en la producción de cacao ha contribuido a reducir la deforestación (Castro-Nunez et al., 2020), y en Ghana, donde estos sistemas han mejorado la conectividad del paisaje y la biodiversidad (Asare et al., 2014). Se discutió cómo estos ejemplos ilustran el potencial de la agroforestería para generar paisajes más resilientes y sostenibles.

- **Oportunidades para la integración de la agroforestería:** Se enfatizó la importancia de integrar árboles en paisajes agrícolas para mejorar la resiliencia frente al cambio climático y otros disturbios. Esta integración puede ser especialmente efectiva en áreas donde la cobertura forestal ha sido significativamente reducida, proporcionando un enfoque de restauración más gradual y adaptable.
- **Relación entre el cultivo de cacao con procesos de deforestación, reforestación y cambio de cobertura arbórea:** Se muestran estudios de caso Perú y Nicaragua que resaltan que el potencial del cultivo de cacao para mejorar la cobertura arbórea depende de la extensión de la ocurrencia y el patrón de distribución espacial en los paisajes agrícolas, y que su cultivo, responde de manera diferente a una amplia gama de factores estresantes y factores impulsores de naturaleza social, política y económica que determinan cada condición local y definen su estado, ya sea como agente de deforestación o reforestación (Orozco-Aguilar et al., 2021).

La agroforestería como modelo para la restauración de paisajes

- Algunas experiencias al sureste de Asia, demuestran que los sistemas agroforestales constituyen un modelo eficaz para la restauración de paisajes, especialmente mediante el cultivo de teca. En esta región, la teca no solo es un componente arbóreo dominante en estos sistemas, representando el 56% de los árboles, sino que también se considera un activo valioso cultural y económicamente.
- Este modelo, que combina cultivos anuales con árboles maderables, es adoptado por pequeños productores para abastecer los mercados de madera, generando ingresos y mejorando las condiciones ambientales.
- De igual manera, otra experiencia documentada en Brasil, indica que en se han identificado 92 especies nativas con múltiples rasgos funcionales que son manejadas y adaptadas a los sistemas agroforestales locales. Estas especies contribuyen significativamente a la reforestación y a otras prácticas de manejo de la tierra, gracias a sus beneficios como la atracción de vida silvestre, la mejora de la biodiversidad, la fijación de nutrientes, la provisión de sombra y la generación de ingresos.

- La presencia de estas especies nativas en los sistemas agroforestales no solo permite la recuperación de la cobertura del suelo y la estructura del bosque, sino que también ayuda a restaurar diversas funciones y servicios ambientales esenciales.
- Se resaltó el siguiente mensaje clave: “Los beneficios ambientales de los árboles en los sistemas agroforestales van más allá de la escala finca o del sistema agroforestal, sino que proporcionan beneficios a escala del paisaje (regulación del agua, conectividad del hábitat), de la región (regulación del clima) y del planeta (mitigación del cambio climático)”.

Institucionalidad de la restauración en LAC

- La mayoría de los países de LAC tienen planes o estrategias nacionales de restauración. De los 17 países analizados en América Latina, 13 han asumido compromisos específicos para la restauración de tierras degradadas. Además, se han implementado varios esquemas de restauración activa, incluyendo plantaciones (bosques plantados), sistemas agroforestales y sistemas silvopastoriles.
- En la región, Brasil lidera los compromisos nacionales con 12 millones de ha, seguido de México con 8.5 millones y Nicaragua con 2.8 millones. Además, se destaca que el 44% de los proyectos de restauración en LAC se centran en áreas agrícolas y ganaderas degradadas. También se resalta la importancia de los pequeños agricultores en la restauración del paisaje, especialmente en la región amazónica, para revertir la deforestación y mejorar los ingresos.
- En Centroamérica, se destacan los esfuerzos de institucionalizar la restauración como una herramienta para el desarrollo sostenible en los países de Guatemala y Honduras. En Guatemala, el plan estratégico de restauración apunta al desarrollo sostenible hasta el año 2045, promoviendo medios de vida diversificados y la diversidad biológica mediante actividades como sistemas agroforestales y plantaciones. Se busca que el 50% de las personas en áreas priorizadas tengan medios de vida diversificados. En Honduras, el objetivo es implementar una producción diversificada vinculada a la recuperación de servicios ambientales y el acceso a mercados, principalmente a través de la agroforestería, como parte de su programa nacional de restauración.

- En otros países como El Salvador, se han implementado acciones de restauración que enfatizan prácticas agroforestales en los últimos años como:
 1. Café/Sistemas agroforestales sustentables (SAS): Con un área en proceso de restauración de 1,006.60 ha, utilizando sistemas agroforestales de granos básicos, con un factor de captura de carbono de 4.20 tCO₂eq/ha/año durante 2 años, resultando en un total de 8,455.44 tCO₂eq capturados.
 2. Ecosistema de manglar: Restauración enfocada en el aprovechamiento sustentable de los recursos naturales, cubriendo 338.80 ha. Este sistema utiliza un enfoque de restauración de manglares con un factor de 6.35 tCO₂eq/ha/año, acumulando 4,302.76 tCO₂eq en total durante 2 años.
 3. Sistema diversificado sustentable: Incluye un área mayor de 3,293.00 ha, aplicando un sistema agroforestal de cacao con un factor de 4.70 tCO₂eq/ha/año, resultando en 30,954.20 tCO₂eq capturados en 2 años.

Factores de éxito para la ampliación de proyectos de reforestación

- Tecnología eficaz, mejora continua
- Entrenamiento continuo
- Divulgación y fomento de desarrollo de capacidades
- Uso del conocimiento local
- Mantener un entorno jurídico claro y transparente
- Presencia de instrumentos económicos efectivos e incentivos para los dueños de tierras

Mecanismos para retener árboles en paisajes agrícolas

- Armonización entre la legislación y las políticas agrícolas, forestales y medio ambientales.
- Simplificación de protocolos/procedimientos para la obtención de permisos de aprovechamiento, transporte y uso de la madera de tierras agrícolas/fincas.
- Es importante que los productores conserven, cultiven y utilicen sus árboles.

- La evolución de los mercados verdes, los estándares de sostenibilidad, las etiquetas y la certificación tanto del café como del cacao han demostrado ser útiles.
- Estándares de certificación de café como el Smithsonian Bird Friendly® y el Rainforest Alliance (RA) son positivos para mantener cobertura.

Principios y criterios agroforestales para vincular la conservación con los medios de vida rurales

- El siguiente cuadro presenta los principios y criterios agroforestales fundamentales para conectar la conservación ecológica con el fortalecimiento de los medios de vida rurales. Estos principios se dividen en funciones ecológicas y sociales, subrayando la importancia de integrar prácticas sostenibles en el manejo de fincas y paisajes (Cuadro 1).

Cuadro 1. Principios y criterios agroforestales para la integración de la conservación ecológica y el bienestar rural

Funciones ecológicas	Funciones sociales
<ul style="list-style-type: none"> • Considerar la finca como un todo y su conexión con el paisaje (planificar las áreas prioritarias para la restauración). • Restringir el uso de agroquímicos y evitar por completo el uso de plaguicidas (insecticidas, fungicidas y herbicidas); • Adoptar prácticas orientadas a reintroducir y mantener la estructura de especies nativas, incluyendo la regeneración natural y la plantación con alta biodiversidad, y especies adecuadas a cada contexto (tanto nativas como exóticas). • Optimizar la captura de luz a través de la estratificación • Asegurar que la preparación de la tierra no cause impactos negativos (ej., compactación y la susceptibilidad a la erosión) • Utilizar métodos de control de la erosión; • mantener el suelo cubierto permanentemente; • Controlar los factores que aumentan la degradación, p. ej., animales domésticos (restringiendo las áreas de pastoreo) • adoptar métodos de prevención de incendios. 	<ul style="list-style-type: none"> • Proporcionar medios de vida a las familias contribuyendo a la seguridad y soberanía alimentaria y nutricional, y permitir la generación de ingresos; • seleccionar especies y diseñar sistemas con base en los recursos disponibles de la familia y la capacidad para manejar el sistema; • priorizar los recursos locales, valorar los conocimientos tradicionales y la construcción colectiva del conocimiento; • aumentar la autonomía de los productores reduciendo la dependencia de insumos externos, • Tener en cuenta las necesidades de la familia en su conjunto; • Elegir especies en función de su multifuncionalidad socioambiental (valores alimenticios, ornamentales, de abono verde, medicinales, culturales y espirituales; producción de biomasa, como especies 'nodrizas' que ayudan a crear las condiciones necesarias para criar a otras), capacidad de almacenamiento de agua. • Promover la agrobiodiversidad, priorizando las semillas autóctonas. • Involucrar a los productores, e incluir las cuestiones de género y generación, en el diseño de sistemas y la selección de especies. • Tener en cuenta la cultura, la visión del mundo y las preocupaciones espirituales en el desarrollo de los SAFs.

- Las funciones ecológicas se enfocan en preservar la biodiversidad, optimizar la captación de luz, minimizar el uso de agroquímicos, y proteger el suelo y los recursos hídricos.
- Por otro lado, las funciones sociales destacan la necesidad de asegurar medios de vida sostenibles, valorando los conocimientos tradicionales, promoviendo la agrobiodiversidad, y considerando la multifuncionalidad de las especies seleccionadas. Este enfoque integral busca fortalecer tanto la resiliencia ecológica como el bienestar socioeconómico de las comunidades rurales.

Herramientas para la restauración

- La herramienta “Tree Diversity Database”, un recurso administrado por la Alianza de Bioversity International y el CIAT. Este portal de datos interactivo proporciona información sobre cientos de especies arbóreas nativas en África, Asia y América Latina, facilitando la conservación y restauración de paisajes degradados. La base de datos permite a los usuarios desarrollar planes específicos de conservación y manejo para cada especie, identificar sinergias entre especies y países, y determinar especies objetivo y posibles fuentes de semillas para la restauración. Esta herramienta es fundamental para apoyar los esfuerzos globales de restauración de bosques y paisajes mientras se mitigan los efectos del cambio climático y se promueve la biodiversidad.
- La herramienta “Shade Tree Advice”, diseñada para ayudar a los agricultores y profesionales a seleccionar especies adecuadas de árboles de sombra para sus cultivos. A través de esta herramienta, los usuarios pueden especificar su país, región y tipo de cultivo, además de los servicios ecosistémicos que esperan de los árboles de sombra. Con esta información y el asesoramiento experto recopilado de agricultores en diferentes regiones, la herramienta proporciona una lista de especies de árboles de sombra recomendadas, clasificándolas según su idoneidad para los atributos seleccionados. Esta herramienta fomenta la diversificación y el uso sostenible de los árboles de sombra en las plantaciones, promoviendo prácticas agrícolas más sostenibles y resilientes.

- El manual “Diseño y manejo de la sombra en cacao” del CATIE, es una herramienta que proporciona directrices para la gestión adecuada de la sombra en los cacaotales, promoviendo prácticas sostenibles que beneficien tanto al cultivo como al ecosistema (Somarriba & Quesada, 2005).
- La Evaluación Rápida de Prácticas, Sistemas y Tecnología Agroforestal (RAFT), que ayuda a visibilizar y evaluar las diversas formas en que se implementan las prácticas agroforestales en los paisajes. RAFT facilita la inclusión de las perspectivas de agricultores y administradores de tierras, permitiendo una clasificación más inclusiva y emergente del uso de la tierra, destacando la necesidad de integrar los sistemas agroforestales en las estadísticas oficiales de agricultura y forestación.

Conclusiones y reflexiones finales

La agroforestería se presenta como una solución versátil para la restauración de paisajes degradados, ofreciendo beneficios tanto ecológicos como socioeconómicos. Es fundamental comprender las causas y los procesos de degradación para seleccionar el enfoque de restauración adecuado, ya sea pasivo o activo. Además, las políticas de conservación y manejo de recursos deben integrar la agroforestería para maximizar sus beneficios y promover la sostenibilidad a largo plazo.

Durante la sesión de preguntas y respuestas, se exploraron varios ejemplos de restauración liderados por actores locales de sus territorios, y se discutieron las oportunidades que ofrecen las prácticas agroforestales para mejorar la resiliencia y la sostenibilidad en cada contexto. La participación de la audiencia proporcionó ejemplos prácticos y casos de éxito en la región, lo que subrayó la importancia de adaptar las prácticas de restauración a cada contexto.

Preguntas de evaluación

1	A nivel global, se estima que la deforestación es de más de 20 millones de ha. <input type="checkbox"/> Verdadero <input type="checkbox"/> Falso
2	El cambio de uso de suelo no es la causa de la destrucción de hábitats. <input type="checkbox"/> Verdadero <input type="checkbox"/> Falso
3	La mayoría de los países de Latinoamérica incluyen en sus marcos o instrumentos regulatorios acciones para restauración. <input type="checkbox"/> Verdadero <input type="checkbox"/> Falso
4	Existen varias escaleras para apoyar las intervenciones de restauración. <input type="checkbox"/> Verdadero <input type="checkbox"/> Falso
5	Según estudios de proyectos de restauración en LAC el 44% de estos proyectos se establecen en áreas agrícolas y ganaderas. <input type="checkbox"/> Verdadero <input type="checkbox"/> Falso

Literatura citada y relacionada al tema

- Andrade, H.J., & Segura, M.A. (2016). Dinámica de la sombra de *Cordia alliodora* en sistemas agroforestales con café en tolima, Colombia. *Agronomía Costarricense*, 40(2), 77-86. <https://doi.org/10.15517/rac.v40i2.27387>
- Asare, R., Afari-Sefa, V., Osei-Owusu, Y., & Pabi, O. (2014). Cocoa agroforestry for increasing forest connectivity in a fragmented landscape in Ghana. *Agroforestry Systems*, 88(6), 1143-1156. <https://doi.org/10.1007/s10457-014-9688-3>
- Castro-Nunez, A., Charry, A., Castro-Llanos, F., Sylvester, J., & Bax, V. (2020). Reducing deforestation through value chain interventions in countries emerging from conflict: The case of the Colombian cocoa sector. *Applied Geography*, 123, 102280. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2020.102280>
- Chazdon, R. L. (2008). Beyond Deforestation: Restoring Forests and Ecosystem Services on Degraded Lands. *Science*, 320(5882), 1458-1460. <https://doi.org/10.1126/science.1155365>
- Orozco-Aguilar, L., López-Sampson, A., Leandro-Muñoz, M. E., Robiglio, V., Reyes, M., Bordeaux, M., Sepúlveda, N., & Somarriba, E. (2021). Elucidating Pathways and Discourses Linking Cocoa Cultivation to Deforestation, Reforestation, and Tree Cover Change in Nicaragua and Peru. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 5. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2021.635779>
- Ramírez Argueta, O. A., Orozco Aguilar, L., Díaz Matute, J., Dubón, A., Sánchez, J. A., & Casanoves, F. (2022). Timber growth, cacao yields, and financial revenues in a long-term experiment of cacao agroforestry systems in northern Honduras. <https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/12086>
- Ritchie, H., & Roser, M. (2023). Deforestation and Forest Loss. *Our World in Data*. <https://ourworldindata.org/deforestation>
- Romijn, J. E., & Coppus, R. (2019). Replication Data for: Restoration Database for Latin America and the Caribbean. Comparative Research Project on Landscape Restoration for Emissions Reductions CIAT/WUR project for USAID"
- Schweizer, D., Meli, P., Brancalion, P. H. S., & Guariguata, M. R. (2021). Implementing forest landscape restoration in Latin America: Stakeholder perceptions on legal frameworks. *Land Use Policy*, 104, 104244. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2019.104244>
- Somarriba, E., & López Sampson, A. (2018). Coffee and Cocoa Agroforestry Systems: Pathways to Deforestation, Reforestation, and Tree Cover Change. <https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/9035>
- Somarriba, E., & Quesada, F. (2005). El diseño y manejo de la sombra en el cacaotal. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). <https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/1553>

Servicios ecosistémicos en café y cacao a nivel de finca y paisaje

Rolando Cerda, PhD.
rcerda@catie.ac.cr

Síntesis de la sesión

Los sistemas agroforestales promueven la biodiversidad al incorporar una amplia variedad de especies vegetales y animales. Al diversificar las fincas y los paisajes, estos sistemas promueven la creación de hábitats para insectos benéficos, polinizadores, aves y microorganismos. Esta biodiversidad proporciona una serie de servicios ecosistémicos claves como el control natural de plagas, reducción del riesgo de brotes de enfermedades, secuestro de carbono, frutas, productos maderables, sombra, entre otros, que contribuyen a la salud y resiliencia general de los paisajes productivos.

Los servicios ecosistémicos, que se definen básicamente como las condiciones y procesos a través cuales ecosistemas naturales y la biodiversidad que los componen, sostienen, y cumplen con la vida humana, incluyendo bienes y funciones (Daily, 1997), se clasifican de manera de la siguiente manera (Müller et al., 2015):

1. **Servicios de aprovisionamiento:** Son los productos o materiales energéticos que las personas obtienen de los ecosistemas. (Por ejemplo, cacao, café, frutas, madera, agua fresca, etc.).

2. **Servicios de regulación:** Son los beneficios que las personas obtienen de los procesos de regulación de los ecosistemas (Por ejemplo, secuestro y almacenamiento de carbono, disponibilidad de nutrientes, regulación de plagas y enfermedades, etc.).
3. **Servicios culturales:** Son los beneficios no materiales que las personas obtienen de los ecosistemas (Por ejemplo, recreación, turismo, apreciación estética, etc.).
4. **Servicios de hábitat:** Son aquellos que son necesarios para la producción de todos los demás servicios ecosistémicos (Por ejemplo, la diversidad específica y genética de las especies).

En la sesión 3, se resaltó la importancia de integrar el estudio de los servicios ecosistémicos para diseñar sistemas agroforestales que maximicen los beneficios, maximizar los beneficios tanto económico como ambiental, asegurando sostenibilidad y resiliencia en los sistemas agrícolas. Durante la presentación se realizó un recorrido sobre diversos estudios vinculados a la temática realizados en la región. Uno de ellos se centra en el inventario completo de plantas en el dosel de sombra de cacaotales. Se analizan diferentes tipologías de cacaotales, clasificadas según tamaño y densidad de especies, para evaluar sus rendimientos y densidades arbóreas.

También se resaltó el tema del balance de carbono en la fincas como un servicio de regulación fundamental. Se presentaron resultados que comparan el almacenamiento de carbono en sistemas agroforestales en comparación los bosques, discutiendo cómo diseñar sistemas que maximizan tanto el carbono como el rendimiento café o cacao. También se exploró la regulación de plagas y la polinización, subrayando la relevancia de aves y abejas en la producción de café y las sinergias entre estos servicios.

Se analizaron indicadores como la acidez del suelo y el contenido de nutrientes, destacando cómo diferentes sistemas de manejo afectan la salud del suelo. Se destacó que los sistemas agroforestales diversificados muestran beneficios en la fertilidad del suelo y su capacidad para sustentar la producción agrícola a largo plazo. Por último, la sesión destacó la importancia de analizar las relaciones compromisos (trade-offs) o

sinergias) entre los servicios ecosistémicos, proponiendo métodos y técnicas de análisis que permitan un equilibrio entre la intensificación de los sistemas de producción y la sostenibilidad mediante una gestión eficaz de los servicios ecosistémicos.

Objetivo de la sesión

- El objetivo principal de la sesión fue explorar cómo los sistemas agroforestales de café y cacao contribuyen a la provisión de diversos servicios ecosistémicos, tanto a nivel de finca como de paisaje. Se pretende que la audiencia comprenda las interrelaciones entre estos servicios y cómo estos sistemas pueden ser manejados para maximizar beneficios múltiples, como la producción de alimentos, la captura de carbono, el mejoramiento de la fertilidad del suelo y la regulación de plagas.

Puntos clave abordados en la sesión

Definición y clasificación de servicios ecosistémicos

- Los servicios ecosistémicos se definen como los beneficios que los humanos obtienen de los ecosistemas. En la sesión se hizo hincapié en cuatro tipos principales: provisión, regulación, culturales y de hábitat de los cuales se mencionaron algunos ejemplos para la investigación en fincas (Figura 11).
- Ejemplos específicos mencionados incluyen la producción de madera y frutos (provisión), la regulación del clima a través del secuestro de carbono, la mejora de la fertilidad del suelo (regulación) y los beneficios culturales como la conservación de tradiciones y conocimientos locales.

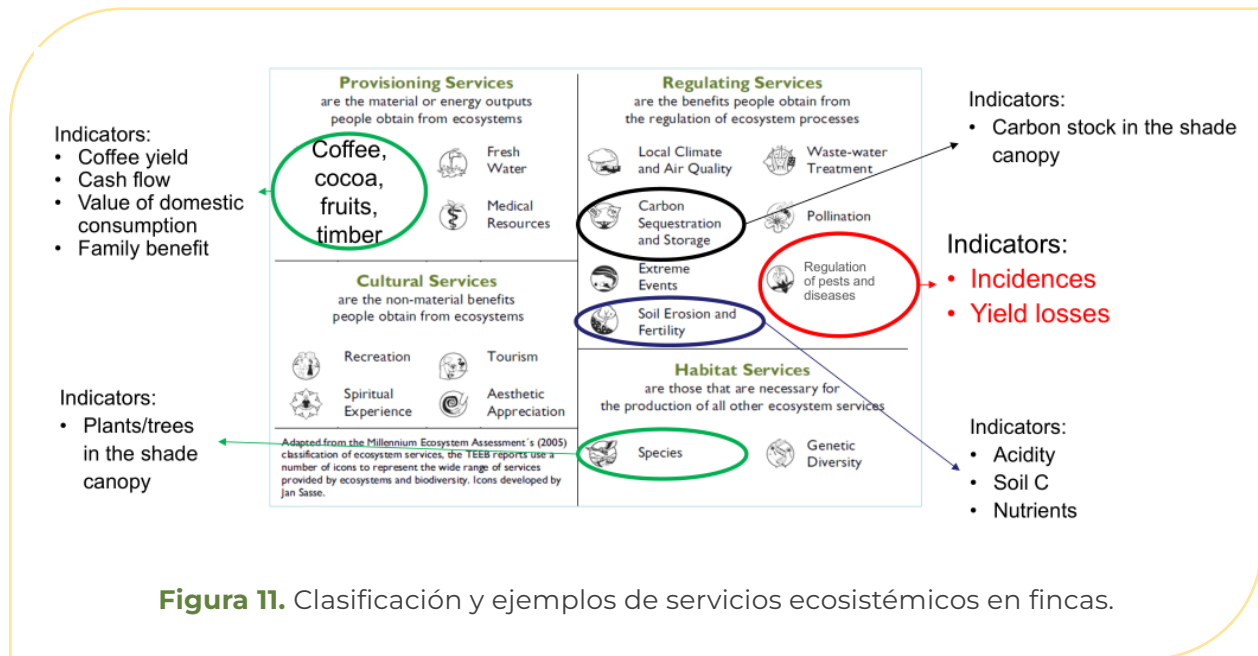


Figura 11. Clasificación y ejemplos de servicios ecosistémicos en fincas.

Importancia de la biodiversidad en agroforestería

- La biodiversidad se destacó como un componente esencial para la provisión de servicios ecosistémicos. En sistemas agroforestales, la diversidad de especies vegetales y animales mejora la resiliencia del sistema y permite una gama más amplia de servicios (Figura 12).
- Especies comunes en los cacaotales y cafetales de Centroamérica, como *Inga* spp., *Cordia alliodora*, y *Gliricidia sepium*, fueron presentadas como ejemplos de cómo la diversidad vegetal contribuye a la regulación de plagas, la mejora del suelo y la captura de carbono.



Figura 12. La producción agroforestal es un importante servicio ecosistémico.



Figura 13. Especies comunes en sistemas agroforestales de Centroamérica.

Medición y evaluación de servicios ecosistémicos:

- Se presentaron varias metodologías para evaluar los servicios ecosistémicos en los sistemas agroforestales, incluyendo inventarios completos de la vegetación del dosel y el uso de indicadores como la densidad de árboles, la producción de frutos y la biomasa de carbono.
- Ejemplos de estudios regionales en países como Guatemala, Nicaragua, Costa Rica y Honduras ilustraron cómo varían estos servicios según las condiciones locales y las prácticas de manejo.

Análisis de “trade-offs” y sinergias entre servicios ecosistémicos

- Un tema clave de la sesión fue la identificación y gestión de trade-off entre diferentes servicios ecosistémicos. Por ejemplo, un mayor secuestro de carbono puede estar en conflicto con el rendimiento agrícola si se incrementa excesivamente la densidad de sombra (Figura 14).

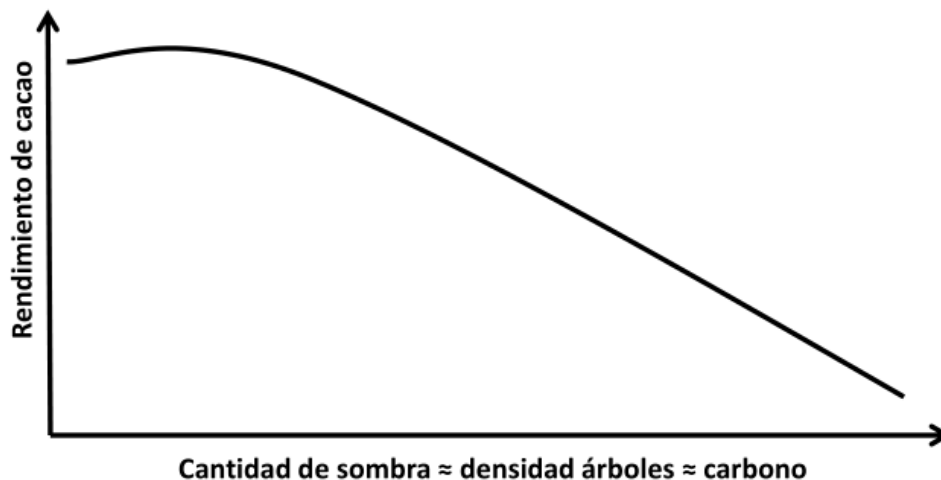


Figura 14. Trade-off entre el rendimiento de cacao y secuestro de carbono (Fuente: Gockowski & Sonwa, 2011; Steffan-Dewenter et al., 2007; Zuidema et al., 2005).

- No obstante, se discutieron estudios que muestran cómo los sistemas de café y cacao bajo sombra pueden ser diseñados para equilibrar la producción y la captura de carbono, logrando sinergias donde ambos objetivos son alcanzados sin comprometer significativamente uno por el otro (Cerda et al., 2017; Toledo & Moguel, 2012; Rapidel et al., 2015; Cerda et al., 2019; Haggard et al., 2021).

Casos de éxito y lecciones aprendidas

- Se presentaron ejemplos de éxito en la implementación de sistemas agroforestales sostenibles que han logrado mejorar la producción y, al mismo tiempo, incrementar los beneficios ecosistémicos. Estos estudios resaltaron la importancia de la selección de especies y el manejo adaptativo basado en la investigación continua (Chain-Guadarrama et al., 2019; Martínez-Salinas et al., 2022; Villarreyna et al., 2020).

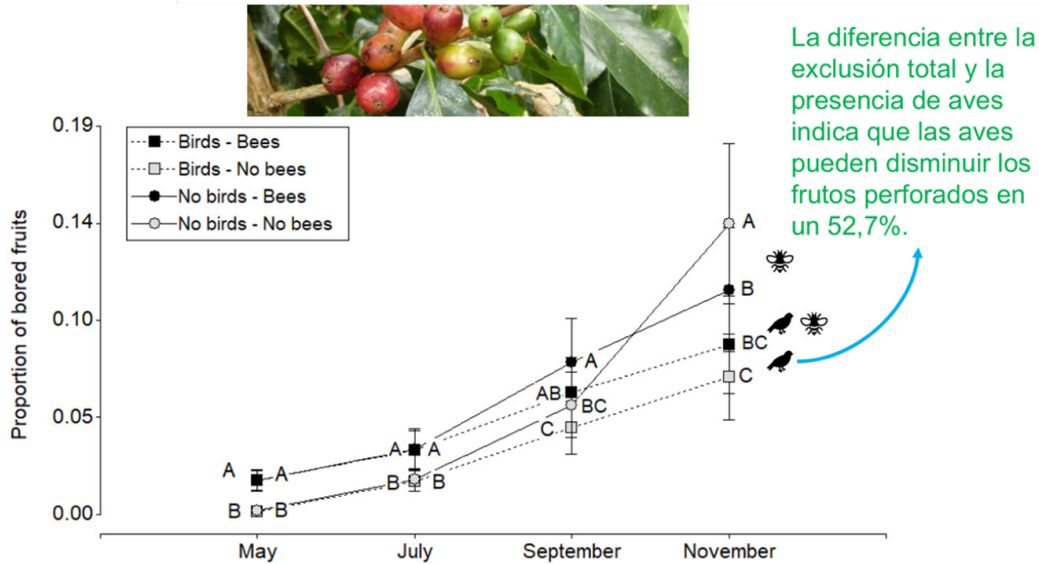


Figura 15. Efecto de la exclusión de aves y abejas sobre la proporción de frutos de café perforados (Fuente: Martínez-Salinas et al., 2022).

- Las experiencias en diferentes países mostraron cómo se pueden adaptar prácticas específicas para maximizar tanto los beneficios económicos como los ambientales, dependiendo del contexto local.

Conclusiones y reflexiones finales

La sesión concluyó que los sistemas agroforestales de café y cacao son esenciales para proporcionar una variedad de servicios ecosistémicos que benefician tanto a las comunidades locales como al medio ambiente global. Sin embargo, el éxito en la provisión de estos servicios depende de prácticas de manejo adecuadas que equilibren los diferentes servicios y maximicen las sinergias mientras se minimizan los trade-off.

Se enfatizó la necesidad de continuar con la investigación y el monitoreo para mejorar la comprensión de las dinámicas entre servicios ecosistémicos en sistemas agroforestales. Además, se sugirió la implementación de políticas que apoyen prácticas agroforestales sostenibles y la educación continua de los agricultores para adoptar nuevas tecnologías y métodos de manejo que optimicen los servicios ecosistémicos. Se invitó a los participantes a reflexionar sobre cómo pueden aplicar estos conceptos en sus propias prácticas y contextos locales, promoviendo así una agricultura más sostenible y resiliente.

Preguntas de evaluación

1	<p>La biodiversidad de plantas, árboles, arbustos, animales en un sistema agroforestal es un servicio ecosistémico.</p> <p><input type="checkbox"/> Verdadero</p> <p><input type="checkbox"/> Falso</p>
2	<p>Se pueden diseñar sistemas agroforestales que simultáneamente produzcan altos rendimientos (cacao+dosel) y mantengan altos niveles de carbono.</p> <p><input type="checkbox"/> Verdadero</p> <p><input type="checkbox"/> Falso</p>
3	<p>Una cobertura de sombra entre 50 y 60% es todavía adecuada para promover buenos rendimientos de café y cacao.</p> <p><input type="checkbox"/> Verdadero</p> <p><input type="checkbox"/> Falso</p>
4	<p>Un trade-off es beneficioso porque promueve el incremento de un servicios al mismo tiempo que se incrementa otro servicio.</p> <p><input type="checkbox"/> Verdadero</p> <p><input type="checkbox"/> Falso</p>
5	<p>Es posible lograr un buen balance de intensificación y sostenibilidad en sistemas agroforestales siempre y cuando se mantenga una cobertura de sombra adecuada y se hagan prácticas de manejo tecnificadas.</p> <p><input type="checkbox"/> Verdadero</p> <p><input type="checkbox"/> Falso</p>

Literatura citada y relacionada con el tema

- Cerda, R., Allinne, C., Gary, C., Tixier, P., Harvey, C. A., 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. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2016.09.019>
- Cerda, R., Deheuvels, O., Calvache, D., Niehaus, L., Saenz, Y., Kent, J., Vilchez, S., Villota, A., Martinez, C., & Somarriba, E. (2014). Contribution of cocoa agroforestry systems to family income and domestic consumption: Looking toward intensification. *Agroforestry Systems*, 88(6), 957-981. <https://doi.org/10.1007/s10457-014-9691-8>
- Cerda, R., Orozco-Aguilar, L., Sepúlveda, N., Ordoñez, J., Carreño-Rocabado, G., Amores, F., Caicedo, W., Oblitas, S., & Somarriba, E. (2019). Tropical agroforestry and ecosystem services: Trade-off analysis for better design strategies. En *Agroforestry for sustainable agriculture*. Burleigh Dodds Science Publishing.
- Chain-Guadarrama, A., Martínez-Salinas, A., Aristizábal, N., & Ricketts, T. H. (2019). Ecosystem services by birds and bees to coffee in a changing climate: A review of coffee berry borer control and pollination. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 280, 53-67. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2019.04.011>
- Corrigan, E., & Nieuwenhuis, M. (2016). A Linear Programming Model to Biophysically Assess Some Ecosystem Service Synergies and Trade-Offs in Two Irish Landscapes. *Forests*, 7(7), Article 7. <https://doi.org/10.3390/f7070128>
- Gockowski, J., & Sonwa, D. (2011). Cocoa Intensification Scenarios and Their Predicted Impact on CO2 Emissions, Biodiversity Conservation, and Rural Livelihoods in the Guinea Rain Forest of West Africa. *Environmental Management*, 48(2), 307-321. <https://doi.org/10.1007/s00267-010-9602-3>
- Daily, G. C. (Ed.). 1997. *Nature's services. Societal dependence on natural ecosystems*. Island Press, Washington, DC. 392 pp. ISBN 1-55963-475-8 hbk), 1 55963 476 6 (soft cover).
- Haggar, J., Casanoves, F., Cerda, R., Cerretelli, S., Gonzalez-Mollinedo, S., Lanza, G., Lopez, E., Leiva, B., & Ospina, A. (2021). Shade and Agronomic Intensification in Coffee Agroforestry Systems: Trade-Off or Synergy? *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 5. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2021.645958>
- Howe, C., Suich, H., Vira, B., & Mace, G. M. (2014). Creating win-wins from trade-offs? Ecosystem services for human well-being: A meta-analysis of ecosystem service trade-offs and synergies in the real world. *Global Environmental Change*, 28, 263-275. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2014.07.005>
- Kragt, M. E., & Robertson, M. J. (2014). Quantifying ecosystem services trade-offs from agricultural practices. *Ecological Economics*, 102, 147-157. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2014.04.001>

- Martínez-Salinas, A., Chain-Guadarrama, A., Aristizábal, N., Vilchez-Mendoza, S., Cerda, R., & Ricketts, T. H. (2022). Interacting pest control and pollination services in coffee systems. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 119(15), e2119959119. <https://doi.org/10.1073/pnas.2119959119>
- Rapidel, B., Ripoche, A., Allinne, C., Metay, A., Deheuvels, O., Lamanda, N., Blazy, J.-M., Valdés-Gómez, H., & Gary, C. (2015). Analysis of ecosystem services trade-offs to design agroecosystems with perennial crops. *Agronomy for Sustainable Development*, 35(4), 1373-1390. <https://doi.org/10.1007/s13593-015-0317-y>
- Steffan-Dewenter, I., Kessler, M., Barkmann, J., Bos, M. M., Buchori, D., Erasmi, S., Faust, H., Gerold, G., Glenk, K., Gradstein, S. R., Guhardja, E., Hartevelde, M., Hertel, D., Höhn, P., Kappas, M., Köhler, S., Leuschner, C., Maertens, M., Marggraf, R., ... Tscharrntke, T. (2007). Tradeoffs between income, biodiversity, and ecosystem functioning during tropical rainforest conversion and agroforestry intensification. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 104(12), 4973-4978. <https://doi.org/10.1073/pnas.0608409104>
- Toledo, V. M., & Moguel, P. (2012). Coffee and Sustainability: The Multiple Values of Traditional Shaded Coffee. *Journal of Sustainable Agriculture*, 36(3), 353-377. <https://doi.org/10.1080/10440046.2011.583719>
- Villarreyna, R., Barrios, M., Vilchez, S., Cerda, R., Vignola, R., & Avelino, J. (2020). Economic constraints as drivers of coffee rust epidemics in Nicaragua. *Crop Protection*, 127, 104980. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2019.104980>
- Zuidema, P. A., Leffelaar, P. A., Gerritsma, W., Mommer, L., & Anten, N. P. R. (2005). A physiological production model for cocoa (*Theobroma cacao*): Model presentation, validation and application. *Agricultural Systems*, 84(2), 195-225. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2004.06.015>

Modelos agroforestales y rol ambiental del cultivo de café en LAC

Rolando Cerda, PhD.

rcerda@catie.ac.cr

Síntesis de la sesión

Con más de 5 millones de ha, el café es cultivado principalmente por pequeños productores, generando beneficios directos e indirectos para muchas familias al ser una fuente crucial de ingresos y empleo. Sin embargo, el sector cafetalero enfrenta múltiples desafíos, como la baja fertilidad del suelo, plagas, enfermedades, y la inestabilidad de precios. Además, el cambio climático añade presión, con previsiones de temperaturas más altas que afectarán las áreas idóneas para el cultivo, desplazando los cafetales a tierras más altas.

Ante estas condiciones, el cambio climático se convierte en un factor determinante. Se espera que para 2050, el rango de altitud ideal para el cultivo del café se modifique, impactando especialmente a países como Nicaragua y El Salvador. No obstante, Costa Rica, Honduras, Guatemala y México podrían encontrar nuevas oportunidades en altitudes más elevadas. Para enfrentar estos retos, se proponen estrategias de adaptación y sostenibilidad, como el uso de variedades resistentes y la intensificación del manejo del café. Los sistemas agroforestales juegan un papel esencial al regular la temperatura y proporcionar sombra, facilitando la adaptación al cambio climático.

En este contexto, en la sesión se describen diversos modelos agroforestales, desde monocultivos hasta sistemas diversificados con árboles maderables y frutales. Estos modelos no solo ayudan a mitigar los efectos del cambio climático, sino que también regulan la temperatura y la radiación solar, contribuyendo a la conservación ambiental. Además, los cafetales agroforestales aportan significativamente a la protección del suelo, la regulación del microclima, y la conservación de la biodiversidad. El papel de los enemigos naturales en el control de plagas y la importancia de las aves y abejas en la polinización se destacan como factores clave que mejoran la producción de frutos.

El agua y el suelo también son factores críticos en esta ecuación. Los sistemas agroforestales con café son esenciales para la provisión de agua en Centroamérica, ya que facilitan la infiltración del agua de lluvia en el suelo, manteniendo así la productividad y salud del ecosistema. Por lo tanto, el manejo adecuado del dosel de sombra es clave para equilibrar la producción y los servicios ecosistémicos. Una poda estratégica puede regular la sombra y reducir los riesgos asociados a condiciones climáticas adversas.

La sesión finaliza reflexionando que, el éxito en la contribución ambiental de los cafetales dependerá de un manejo efectivo de los sistemas agroforestales, buscando siempre un equilibrio entre producción y servicios ecosistémicos.

Objetivo de la sesión

- El objetivo central de la sesión “Modelos Agroforestales y Rol Ambiental del Café en Latinoamérica y el Caribe (LAC)” es analizar los diferentes modelos agroforestales utilizados en el cultivo de café en la región de LAC y explorar cómo estos modelos contribuyen a la provisión de servicios ecosistémicos, tales como la conservación de la biodiversidad, la protección del suelo y la mitigación del cambio climático. Además, la sesión se centra en identificar los desafíos actuales que enfrenta el sector cafetalero debido al cambio climático y otros factores socioeconómicos, y en proponer estrategias de adaptación y mitigación para asegurar la sostenibilidad de los sistemas agroforestales de café.

Puntos clave abordados en la sesión

Datos e información clave sobre la importancia socioeconómica del café en LAC

- **Importancia mundial:** El café general alrededor de 19 mil millones de dólares en exportaciones anuales. Además, existen 25 millones de agricultores, en su mayoría pequeños productores, cuyos medios de vida dependen de este cultivo. Se consumen 2.25 mil millones de tazas de café diariamente, y 125 millones de personas tienen sus medios de vida ligados al café. El cultivo se extiende por 70 países, subrayando su relevancia no solo como producto de consumo masivo, sino también como pilar económico para numerosas familias y comunidades globalmente.
- **Superficie y producción:** Más de 5 millones de ha están dedicadas al cultivo de café en LAC, lo que representa una parte significativa del uso de la tierra en la región y contribuye de manera importante a la economía agrícola local.
- **Dependencia económica:** El 85% del café es producido por pequeños agricultores. Esto implica que una gran mayoría de las familias rurales dependen del café como fuente principal de ingresos y sustento. Esta dependencia hace que el sector sea particularmente vulnerable a los cambios de mercado y condiciones climáticas adversas.
- **Generación de empleos:** La producción de café no solo genera ingresos directos para los agricultores, sino que también crea una importante cantidad de empleos directos en las plantaciones y empleos indirectos en el procesamiento, transporte y comercialización del café, especialmente durante las temporadas de cosecha. Esta generación de empleo es crucial para las economías rurales y contribuye a la estabilidad social en las en el sector rural de la región.
- **Beneficios directos:** Los agricultores generan ingresos a través de la venta de café y otros productos derivados, lo que permite mejorar sus condiciones de vida y ofrece productos para el consumo interno de las familias.

- **Beneficios indirectos:** La producción de café estimula la economía local al crear oportunidades de empleo y fomentar industrias relacionadas, como la transformación del grano en productos de valor añadido. Esto incluye el trabajo estacional en la cosecha y el procesamiento, que es fundamental para muchas comunidades rurales.

Retos para el sector cafetalero en LAC

- **Baja fertilidad de suelos:** Muchos cafetales en la región son viejos y requieren rehabilitación. La constante extracción de nutrientes sin reposición adecuada ha llevado a una baja fertilidad de los suelos, lo que reduce los rendimientos y amenaza la viabilidad económica de las plantaciones. Se requieren inversiones significativas en fertilización y manejo del suelo para mantener la productividad.
- **Plagas y enfermedades:** La roya del café (*Hemileia vastatrix*), que ha sido devastadora desde 2012, es un ejemplo de cómo las enfermedades pueden tener un impacto catastrófico en los cultivos de café. El cambio climático y la falta de manejo adecuado pueden exacerbar estos problemas, haciendo que los patógenos sean más difíciles de controlar y aumentar la necesidad de soluciones integradas de manejo de plagas y enfermedades.
- **Inestabilidad de precios y costos de producción:** Las fluctuaciones en los precios del café en el mercado global, junto con el aumento de los costos de insumos (fertilizantes, pesticidas, etc.), hacen que los ingresos de los productores sean impredecibles y, a menudo, insuficientes para cubrir los costos de producción. Este problema se ve agravado por la volatilidad del mercado y la dependencia de los pequeños agricultores de las cadenas de suministro globales.
- **Cambio climático:** Las proyecciones al 2050 sugieren un aumento de 2°C en las temperaturas y cambios significativos en la distribución de las lluvias, afectando la idoneidad de las áreas de cultivo actuales. Las áreas de baja altitud, que actualmente son adecuadas para el cultivo de café, podrían volverse inhóspitas, mientras que las áreas de mayor altitud pueden convertirse en las nuevas zonas óptimas para el cultivo, lo que plantea desafíos logísticos y de sostenibilidad (Ovalle Rivera et al., 2015).

- En la presentación se enfatizó que si no se enfrentan y superan estos retos, esta situación se traducirá en un incremento en la vulnerabilidad de los productores, reducción de los ingresos y de la seguridad alimentaria, lo que impulsará el abandono o sustitución de cafetales por otros cultivos que provocará pérdida de servicios ecosistémicos.

Impacto del cambio climático

- **Aumento de las temperaturas:** Se espera que las temperaturas más altas tengan un impacto mayor que los cambios en la precipitación en la adecuación de las áreas para el cultivo de café. Las temperaturas extremas pueden reducir la productividad del café y aumentar el estrés en las plantas, haciéndolas más susceptibles a enfermedades.
- **Cambios en la idoneidad del clima:** Las zonas actuales de cultivo de café situadas entre 400 y 2000 metros sobre el nivel del mar podrían verse desplazadas hacia altitudes más altas, entre 800 y 2500 metros, debido a las condiciones climáticas cambiantes (Figura 16).

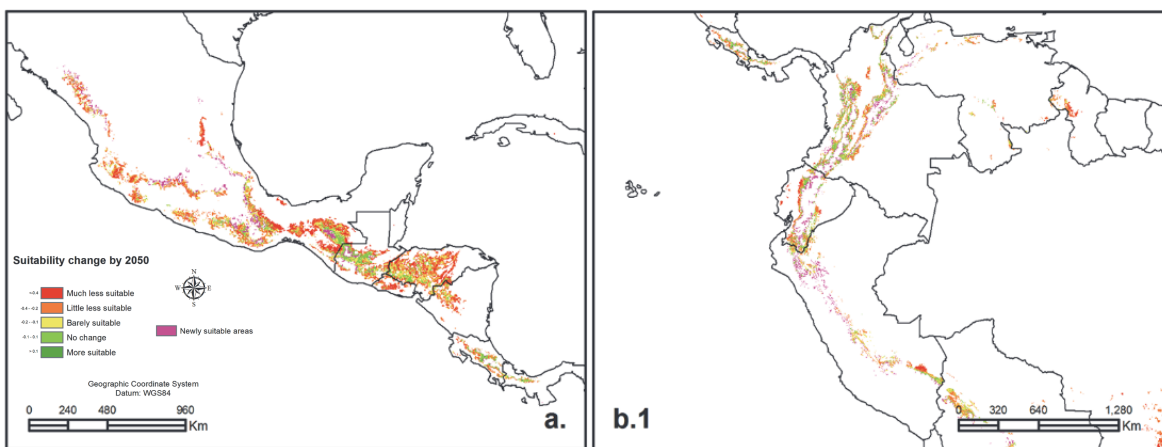


Figura 16. Cambios en la idoneidad del cultivo café en las regiones de Mesoamérica y Sudamérica al año 2050 (Fuente: Ovalle Rivera et al., 2015).

- **Gradiente de impacto por países:** Nicaragua y El Salvador serán los más afectados, en cambio, Costa Rica, Honduras, Guatemala y México ganarán idoneidad en áreas entre 1500- 2500 msnm, con lo que podría compensar áreas que ya no serán idóneas. Sin embargo, se espera que estos cambios no solo alterarían las prácticas agrícolas, sino que también podría generar conflictos sobre el uso de la tierra y la conservación de la biodiversidad en las zonas montañosas.
- Se resaltó que la tendencia general de los cambios proyectados indica que se reducirán más la idoneidad de clima para áreas cafetaleras en tierras bajas (<1000 msnm), e incrementarán la idoneidad en tierras altas. Eso quiere decir que los cafetales se moverán a las partes altas de las montañas. Además, de que las proyecciones también sugieren que existe mucha variabilidad en los impactos estimados del cambio climático para las áreas cafetaleras, tanto entre regiones y países como dentro de los países.

Principales tendencias del café arábica en LAC

- Las implicaciones de la magnitud y variabilidad de los cambios proyectados son amplias, sin embargo, se prevé que en las montañas, donde generalmente hay bosques, se incremente la presión sobre el uso de la tierra, lo que implicaría que las organizaciones y gobiernos piensen en mejores estrategias para reducir el impacto ambiental (pérdida de biodiversidad y biomasa-carbono, posible degradación de suelos). Algunas tendencias para gestionar estos cambios son las siguientes (Harvey et al., 2021):
 1. El cambio generalizado a variedades resistentes a las enfermedades, por ejemplo, variedades tradicionales Bourbon/Typica → Sarchimor y Catimor e Híbridos F1.
 2. La intensificación convencional del manejo del café a través de mayores densidades de siembra, mayor uso de agroquímicos y menos sombra.
 3. La conversión del café a otros usos agrícolas de la tierra (cacao a baja altitud < 700 m).
 4. La introducción del café Robusta en áreas no cultivadas previamente con café.

5. La expansión del café en áreas protegidas de las tierras altas, generalmente boscosas.
6. La urbanización de los paisajes cafeteros.
7. El aumento en el área de café producido bajo estándares voluntarios de sostenibilidad.

Estrategias de adaptación al cambio climático

- La sesión destacó que, de acuerdo con la severidad de los cambios esperados en cada región, se proponen tres tipos de estrategias de adaptación (Figura 17).

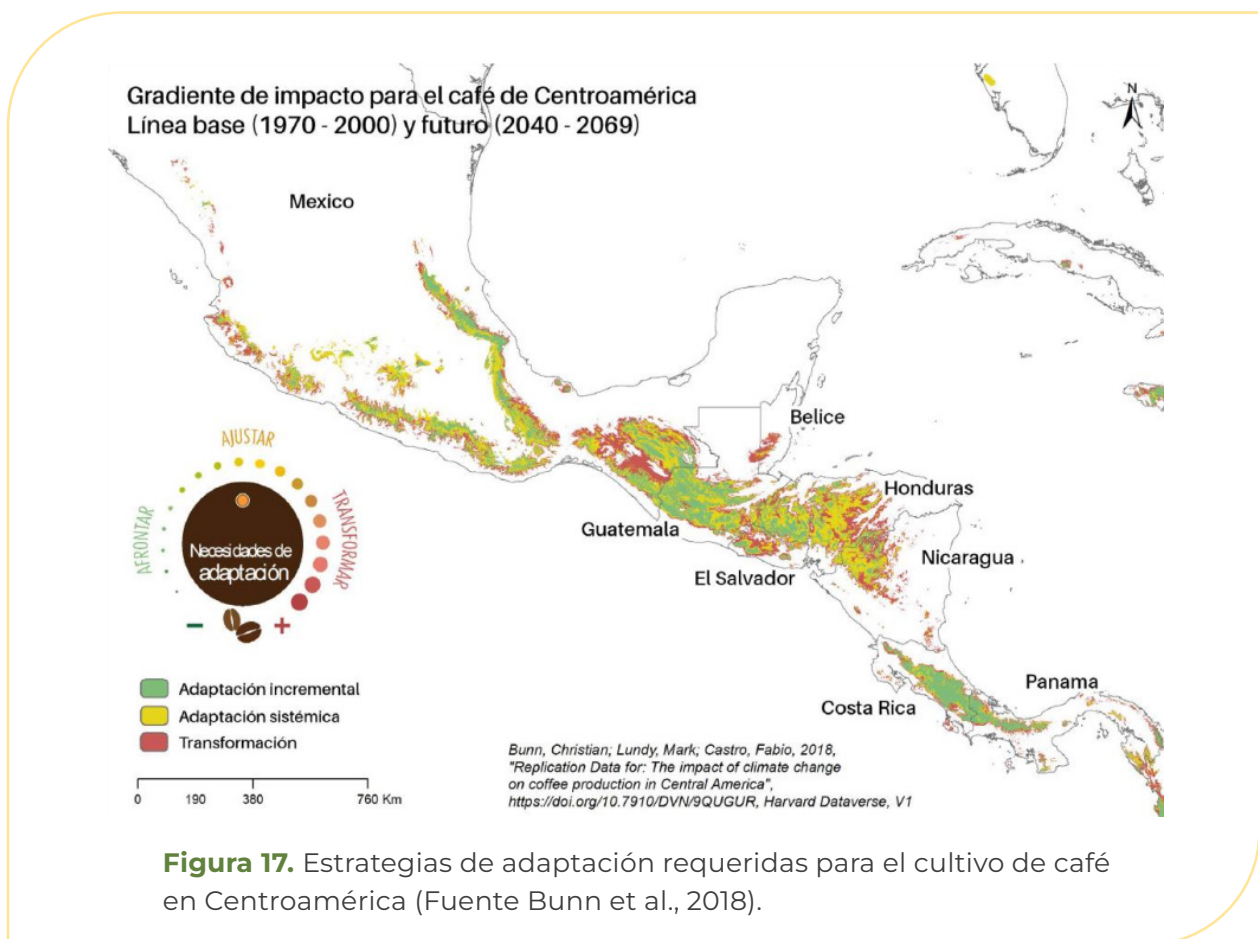


Figura 17. Estrategias de adaptación requeridas para el cultivo de café en Centroamérica (Fuente Bunn et al., 2018).

- La adaptación incremental se centra en realizar mejoras graduales en las prácticas de manejo del cultivo, como ajustar la densidad de siembra, mejorar el manejo de la sombra y optimizar el uso de recursos hídricos y la gestión de plagas. Es adecuada para áreas donde los impactos del cambio climático son menos severos y donde se pueden realizar ajustes sin necesidad de cambios drásticos.
- La adaptación sistémica implica un rediseño integral de los sistemas agroforestales para mejorar la resiliencia climática. Esto puede incluir la introducción de nuevas variedades de café resistentes al cambio climático, la diversificación de los cultivos y la reestructuración de la sombra para maximizar los beneficios microclimáticos. Es una estrategia más intensiva que requiere inversión en infraestructura y capacitación para los agricultores.
- La adaptación transformacional aplica en regiones donde los efectos del cambio climático son severos, puede ser necesario implementar cambios drásticos en las prácticas de cultivo. Esto podría incluir la transición hacia nuevos cultivos más resistentes o la intensificación de prácticas sostenibles que reduzcan la dependencia del café. La transformación puede ser costosa y requiere un apoyo significativo de políticas y financiamiento para ser viable.

Sistemas agroforestales de café en LAC

- Se hizo énfasis en la importancia del diseño y manejo adecuado de la sombra en los cafetales para mitigar los efectos del cambio climático, como las variaciones de temperatura y lluvia. Al optimizar estos aspectos, se puede aumentar la captura de carbono y reducir las emisiones, mejorando así la adaptación a los cambios climáticos.
- Además, se señala que las contribuciones ambientales de los cafetales dependen del tipo de sistema agroforestal implementado. Sobre esta premisa, se repasaron los siguientes sistemas agroforestales de la región:

1. **Monocultivo de café:** Este sistema implica una alta densidad de siembra y un mayor uso de agroquímicos, con poco o ningún uso de árboles de sombra. Es común en grandes plantaciones comerciales donde se prioriza la maximización de los rendimientos a corto plazo. Sin embargo, estos sistemas son menos sostenibles debido a su mayor dependencia de insumos externos y su menor resistencia a las fluctuaciones climáticas y de precios (Figura 18).



Figura 18. Sistema de café sin sombra.

2. **Café con sombra simple:** Integra especies de sombra como bananos, plátanos o árboles de servicio (leguminosas), que ofrecen beneficios adicionales como la regulación de la temperatura, la reducción de la erosión del suelo y la provisión de ingresos adicionales. Estos sistemas son más sostenibles que los monocultivos, ya que requieren menos insumos externos y mejoran la resiliencia del ecosistema (Figura 19).



Figura 19. Café con sombra simple.

- 3. Café con sombra diversificada:** Utiliza una variedad de especies arbóreas y arbustivas para proporcionar una sombra más compleja y diversa. Estos sistemas no solo promueven una mayor biodiversidad, sino que también mejoran la captura de carbono y la regulación del microclima. Son considerados los más sostenibles a largo plazo, ya que combinan la producción de café con la provisión de múltiples servicios ecosistémicos (Figura 20).



Figura 20. Café con sombra diversificada.

Rol de los cafetales agroforestales para el ambiente

- **Mejoramiento del microclima:** Los árboles en los sistemas agroforestales de café actúan como una barrera natural contra la radiación solar directa, protegiendo las plantas de café de la exposición excesiva al sol. Esto es crucial para evitar el estrés hídrico y el daño por radiación, que puede afectar negativamente la productividad del café.

- **Temperatura del suelo:** Los árboles de sombra también juegan un papel crucial en la regulación de la temperatura del suelo, reduciendo las temperaturas máximas en comparación con las áreas a pleno sol. Los datos del monitoreo en un estudio realizado en San José de los Guares, Yoro, muestran que la temperatura del suelo bajo sombra es consistentemente más baja que en áreas expuestas al sol directo, variando entre 1°C a 3°C menos. Esto no solo ayuda a mantener un ambiente más fresco para las plantas de café, reduciendo el estrés térmico, sino que también contribuye a la adaptación al cambio climático al mejorar la resiliencia de los cultivos.
- **Provisión de agua:** Se destacó la relación entre los sistemas agroforestales de café y la provisión de agua en Centroamérica, mostrando cómo los cafetales no solo son productivos para el cultivo de café, sino que también juegan un papel crucial en la conservación de fuentes de agua. Se presentaron sobre el número de fuentes de agua localizadas dentro de zonas de café en diferentes países de Centroamérica y la cantidad de población que depende de estas fuentes para su abastecimiento de agua. En total, se identifican 1,110 fuentes de agua en zonas cafetaleras que abastecen a aproximadamente 1,386,294 personas.
- **Provisión de hábitat:** Los sistemas agroforestales proporcionan hábitat para una amplia gama de especies de flora y fauna, promoviendo la biodiversidad y contribuyendo al equilibrio ecológico. Los árboles de sombra y otras plantas dentro de los sistemas agroforestales ofrecen refugio y recursos alimentarios para aves, insectos y mamíferos, muchos de los cuales son beneficiosos para el control biológico de plagas.
- **Reducción de la erosión del suelo y mejora de la fertilidad:** La cobertura de sombra y el manejo adecuado del suelo en sistemas agroforestales ayudan a reducir la erosión, mejorar la estructura del suelo y aumentar la materia orgánica. Esto no solo conserva el suelo fértil, sino que también mejora la capacidad de retención de agua, crucial en épocas de sequía.
- **Mitigación del cambio climático:** Al incluir árboles en los sistemas de cultivo, los sistemas agroforestales aumentan la captura de carbono, reduciendo la cantidad de CO₂ en la atmósfera. Además, estos sistemas tienden a ser más resilientes frente a eventos climáticos extremos, proporcionando una estrategia eficaz para mitigar los impactos del cambio climático.

NAMA Café

- La presentación introdujo de manera breve la iniciativa de NAMA Café promovida por el CATIE, la cual busca promover prácticas de producción de café que sean más sostenibles desde el punto de vista ambiental, social y económico. Esta iniciativa se centra en reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, mejorar la captura de carbono y aumentar la resiliencia de los cafetales frente a los impactos del cambio climático. Los aspectos clave de esta iniciativa son los siguientes:
 - 1. Promoción de prácticas de baja emisión:** NAMA-Café se enfoca en la implementación de prácticas agrícolas que reduzcan las emisiones de carbono y aumenten la captura de carbono en los sistemas de producción de café. Esto incluye el uso de sistemas agroforestales que integren árboles para proporcionar sombra y mejorar la salud del suelo, así como la utilización de variedades de café más resistentes al cambio climático y menos dependientes de insumos químicos.
 - 2. Apoyo a la adaptación al cambio climático:** La iniciativa también busca fortalecer la capacidad de adaptación de los productores de café frente a los cambios en las condiciones climáticas. Esto se logra promoviendo la diversificación de cultivos, mejorando las prácticas de manejo del suelo y el agua, y fomentando el rediseño de los sistemas de sombra para regular la temperatura y reducir la vulnerabilidad a plagas y enfermedades.
 - 3. Participación y monitoreo de políticas sostenibles:** CATIE, una de las instituciones clave en la implementación de NAMA-Café, ha sido un socio importante desde el inicio de esta iniciativa en Costa Rica. CATIE ha participado en el diseño de sistemas agroforestales piloto, el análisis económico de buenas prácticas y el desarrollo de sistemas de monitoreo mejorados. Además, ha influido en las políticas hacia una producción de café más sostenible, trabajando en colaboración con gobiernos y otras organizaciones.

4. **Impactos y avances:** Hasta 2020, los proyectos de apoyo a NAMA-Café han reportado avances significativos en la promoción de mejores prácticas en la producción de café. Sin embargo, se destaca la necesidad de continuar con esfuerzos sostenidos para contribuir a los objetivos de las Contribuciones Determinadas a Nivel Nacional (NDC) y promover prácticas que no solo sean ambientalmente sostenibles, sino también económicamente viables para los pequeños productores.
5. **Beneficios para las comunidades locales y el medio ambiente:** A través de la adopción de prácticas sostenibles promovidas por NAMA-Café, los cafetales no solo mantienen su productividad, sino que también juegan un papel crucial en la conservación del agua, la biodiversidad y la reducción de la deforestación. Los sistemas agroforestales con café ayudan a conservar numerosas fuentes de agua en las regiones montañosas, beneficiando tanto a las comunidades locales como al medio ambiente global.

El éxito de la contribución de cafetales al ambiente dependerá también del manejo del dosel de sombra

- El manejo adecuado del dosel de sombra es crucial para maximizar los beneficios ambientales y productivos de los cafetales agroforestales. Un dosel bien manejado puede mejorar el microclima del cultivo, reduciendo las temperaturas extremas y proporcionando un ambiente más favorable tanto para las plantas de café como para los microorganismos benéficos que ayudan en el control de plagas y enfermedades.
- Se destacan varias prácticas de manejo del dosel, como eliminar ramas bajas para levantar la sombra y mantener un nivel de copa adecuado, y eliminar ramas verticales para garantizar una cobertura uniforme tipo “paraguas”. Estas prácticas ayudan a mantener un equilibrio adecuado entre la sombra y la luz solar, que es esencial para la fotosíntesis y el desarrollo óptimo de las plantas de café.

- Un manejo adecuado del dosel de sombra no solo contribuye a la regulación de la temperatura del suelo y del aire, sino que también ayuda a conservar la humedad del suelo y reduce la erosión. Esto es fundamental para la sostenibilidad a largo plazo del cultivo de café y para la mitigación de los efectos del cambio climático, al mejorar la capacidad de los sistemas agroforestales para secuestrar carbono y reducir emisiones.
- La sombra regulada favorece la biodiversidad al crear hábitats para aves y otros animales que actúan como depredadores naturales de plagas del café. Además, contribuye a mantener un equilibrio en la población de insectos y patógenos, lo cual es vital para reducir el uso de pesticidas y promover un entorno agrícola más saludable y equilibrado.

Conclusiones y reflexiones finales

La sesión finaliza enfatizando que es esencial promover prácticas agroforestales que equilibran la producción de café con la provisión de servicios ecosistémicos. Esto incluye la adopción de sistemas diversificados que mejoran la resiliencia del ecosistema y la sostenibilidad económica de las comunidades productoras.

Las políticas y estrategias deben centrarse en mejorar la capacidad de los sistemas agroforestales para adaptarse al cambio climático, manteniendo la biodiversidad, la salud del suelo y la eficiencia en el uso del agua. La capacitación y el apoyo a los agricultores son fundamentales para implementar estas prácticas de manera efectiva.

Se invitó a la reflexión de la importancia de establecer y hacer cumplir regulaciones que minimicen la deforestación asociada con la expansión del cultivo de café en áreas de mayor altitud y promover la plantación en áreas adecuadas que maximicen los beneficios ambientales y económicos.

Preguntas de evaluación

1	Los cambios en el clima reducirán la idoneidad de tierras para áreas cafetaleras en tierras bajas (<1000 msnm), e incrementarán la idoneidad en tierras altas.
	<input type="checkbox"/> Verdadero
	<input type="checkbox"/> Falso
2	Una de las siete tendencias en los paisajes cafetaleros de Latinoamérica y el Caribe es la conversión del café hacia otros usos agrícolas de la tierra como la caña de azúcar, pasturas y/o cacao.
	<input type="checkbox"/> Verdadero
	<input type="checkbox"/> Falso
3	¿Los tres grados de esfuerzo de adaptación (gradiente de impacto) en los cafetales de Latinoamérica y el Caribe son: 1) incremental, 2) sistémica y 3) transformacional?
	<input type="checkbox"/> Verdadero
	<input type="checkbox"/> Falso
4	¿El cultivo del café requiere en promedio entre 2200 a 2400 horas de luz por año?
	<input type="checkbox"/> Verdadero
	<input type="checkbox"/> Falso
5	Los estudios del CATIE sobre el aporte/servicios de la biodiversidad a la regulación de plagas en cafetales indican que hay un 24% más de frutos cuando las abejas y aves están presentes en comparación con el tratamiento de exclusión completa.
	<input type="checkbox"/> Verdadero
	<input type="checkbox"/> Falso

Literatura citada y relacionada con el tema

- Avelino, J., Cristancho, M., Georgiou, S., Imbach, P., Aguilar, L., Bornemann, G., Läderach, P., Anzueto, F., Hruska, A. J., & 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. <https://doi.org/10.1007/s12571-015-0446-9>
- Bunn, C., Lundy, M. M., & Castro-Llanos, F. A. (2019). *Climate Change Impacts on Coffee Production in Mexico and Central America*. <https://hdl.handle.net/10568/104019>

- Cerda, R., Allinne, C., Gary, C., Tixier, P., Harvey, C. A., 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. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2016.09.019>
- Cerda, R., Orozco-Aguilar, L., Sepúlveda, N., Ordoñez, J., Carreño-Rocabado, G., Amores, F., Caicedo, W., Oblitas, S., & Somarriba, E. (2019). Tropical agroforestry and ecosystem services: Trade-off analysis for better design strategies. En *Agroforestry for sustainable agriculture*. Burleigh Dodds Science Publishing.
- Chain-Guadarrama, A., Martínez-Salinas, A., Aristizábal, N., & Ricketts, T. H. (2019). Ecosystem services by birds and bees to coffee in a changing climate: A review of coffee berry borer control and pollination. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, *280*, 53-67. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2019.04.011>
- Harvey, C. A., Pritts, A. A., Zwetsloot, M. J., Jansen, K., Pulleman, M. M., Armbrecht, I., Avelino, J., Barrera, J. F., Bunn, C., García, J. H., Isaza, C., Muñoz-Ucros, J., Pérez-Alemán, C. J., Rahn, E., Robiglio, V., Somarriba, E., & Valencia, V. (2021). Transformation of coffee-growing landscapes across Latin America. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, *41*(5), 62. <https://doi.org/10.1007/s13593-021-00712-0>
- Martínez-Salinas, A., Chain-Guadarrama, A., Aristizábal, N., Vilchez-Mendoza, S., Cerda, R., & Ricketts, T. H. (2022). Interacting pest control and pollination services in coffee systems. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *119*(15), e2119959119. <https://doi.org/10.1073/pnas.2119959119>
- Merle, I., Villarreyna-Acuña, R., Ribeyre, F., Rouspard, O., Cilas, C., & Avelino, J. (2022). Microclimate estimation under different coffee-based agroforestry systems using full-sun weather data and shade tree characteristics. *European Journal of Agronomy*, *132*, 126396. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2021.126396>
- Ovalle Rivera, O., Laderach, P., Bunn, C., Obersteiner, M., & Schroth, G. (2015). Projected Shifts in *Coffea arabica* Suitability among Major Global Producing Regions Due to Climate Change. *PLoS ONE*, *10*, e0124155. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0124155>
- Rouspard, O., Allinne, C., Van Den Meersche, K., Vaast, P., Rapidel, B., Avelino, J., ... & Gay, F. (2021). Monitoreo de servicios ecosistémicos en un observatorio de cafetales agroforestales. Recomendaciones para el sector cafetalero. https://agritrop.cirad.fr/604827/1/2021_RAFA-Rouspard_ObservatorioSAF-Cafe-Aquiare.pdf
- Steinvorth, K. (2017). Concepto NAMA Nationally Appropriated Mitigation Actions Café de Costa Rica. MAG.
- Virginio Filho, E., Somarriba, E., Cerda, R., Casanoves, F., Cordero, C. A., Avelino, J., Rouspard, O., Rapidel, B., Vaast, P., Harmand, J.-M., Staver, C., Beer, J., Mora, A., Morales, V. H., Fonseca, C., Vargas, V. J., Ramírez, L. G., Soto, G., Isaac, M. E., ... Hagggar, J. (2021). 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. *AgroForestería en las Américas*. <https://agritrop.cirad.fr/598907/>

Diversidad genética de cacao como base para el diseño de SAF sostenibles

Bénédicte Rhoné, PhD.

benedicte.rhone@catie.ac.cr

benedicte.rhone@cirad.fr

Síntesis de la sesión

El origen del cacao (*Theobroma cacao*) probablemente se encuentra en la Amazonia alta, hace unos 10 millones de años. Esta diversidad genética es fundamental para desarrollar variedades que puedan enfrentar desafíos significativos como enfermedades y plagas.

En el sector cacaotero, la producción mundial está altamente concentrada, con el 77% en ciertas regiones. Sin embargo, enfrenta retos críticos, incluyendo baja productividad, enfermedades, y el impacto del cambio climático. Estos desafíos demandan estrategias de mejoramiento genético efectivas para asegurar la sostenibilidad del cultivo.

En este marco, el mejoramiento genético del cacao tiene como objetivo desarrollar variedades productivas, resistentes a enfermedades, y adecuadas para sistemas agroforestales. Las actividades clave incluyen la recolección y preservación de recursos genéticos, además de la caracterización genética y fenotípica, esenciales para adaptar las plantas a sistemas productivos diversificados.

En la sesión se destacan las expediciones de prospección en la Amazonía ecuatoriana en 2010, 2013, 2017 y 2019, donde se recolectó material genético con la participación de comunidades locales. Este esfuerzo estableció colecciones importantes para preservar la diversidad genética del cacao, asegurando una base sólida para futuros trabajos de mejoramiento. Para evaluar esta diversidad, se han empleado marcadores moleculares y evaluaciones fenotípicas, con el fin de determinar la resistencia a enfermedades y la calidad del cacao. Estos análisis han sido fundamentales en la región para identificar los mejores genotipos y asegurar el futuro del cultivo.

Por su parte, el programa de mejoramiento del CATIE en Centroamérica, se centra en la selección de genotipos, cruzamientos controlados, y ensayos híbridos y clonales. A través de estos métodos, se distribuyen variedades mejoradas a productores de la región, asegurando que las nuevas variedades sean productivas y resistentes.

Mirando hacia el futuro, en la sesión se enfatiza la necesidad de definir nuevos criterios de selección para afrontar amenazas como nuevas enfermedades y el cambio climático. Se promueve un enfoque participativo donde los productores y otros actores del sector contribuyen al desarrollo de estos criterios. Además, la selección genómica emerge como una técnica prometedora para acelerar el desarrollo de nuevas variedades, utilizando modelos predictivos basados en el valor genómico.

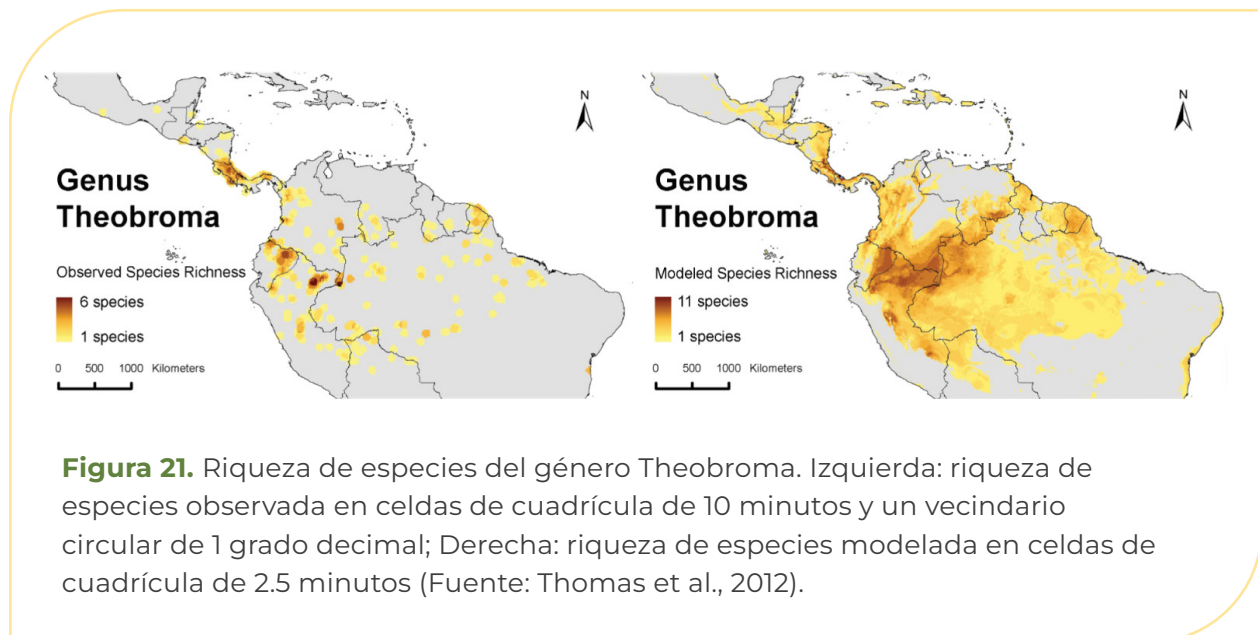
Objetivo de la sesión

- El objetivo central de la sesión es resaltar la importancia de la diversidad genética del cacao (*Theobroma cacao*) en la creación y mantenimiento de sistemas agroforestales sostenibles. La presentación busca demostrar cómo la variabilidad genética de esta planta puede ser utilizada para desarrollar variedades de cacao más resistentes, productivas y adaptadas a diversas condiciones ambientales y desafíos, tales como enfermedades y cambio climático.

Puntos clave abordados en la sesión

Introducción y contexto histórico

- La presentación abordó la diversidad genética del cacao (*Theobroma cacao*) y su importancia para el diseño de sistemas agroforestales sostenibles. Se destaca que el origen más probable del cacao es la Amazonia alta, donde apareció hace unos 10 millones de años (Figura 21).
- La diversidad genética de la especie se desarrolló a medida que el cacao se dispersó a través de América del Sur y América Central, tanto por medios naturales como por la intervención humana. Este proceso ha resultado en la formación de múltiples grupos genéticos, los cuales son fundamentales para el mejoramiento genético y la sostenibilidad de los cultivos de cacao.



Dispersión y estructura genética del cacao

- El cacao se ha expandido a lo largo del tiempo a diversas regiones, y esta expansión ha llevado a una estructuración genética notable que se puede observar a través de diferentes marcadores moleculares. En la actualidad, la producción mundial de cacao se concentra principalmente en África (77%), seguido de América (17%) y Asia (5%). La alta diversidad genética en América del Sur y Central es crucial para enfrentar los desafíos que presenta el cultivo del cacao, como la baja productividad y la alta susceptibilidad a enfermedades.

Desafíos en la producción y mejoramiento del cacao

- El cacao enfrenta varios desafíos significativos, incluidos la baja productividad promedio y las pérdidas sustanciales debido a enfermedades como la moniliasis y la phytophthora. Estos problemas son exacerbados por el cambio climático, que afecta la viabilidad de las áreas de cultivo de cacao en el futuro. Para abordar estos desafíos, se enfatiza la necesidad de utilizar la diversidad genética existente para desarrollar variedades más resistentes y adaptadas a diferentes condiciones agroclimáticas.

Estrategias de conservación y mejoramiento genético:

- La presentación describe tres pilares principales para la conservación y mejoramiento del cacao:
 - 1. Colección y preservación de recursos genéticos:** Recolectar y conservar la diversidad genética de la especie, incluyendo especies silvestres y variedades locales, para protegerlas contra la deforestación y otros factores adversos.
 - 2. Caracterización de recursos genéticos:** Evaluar la resistencia a enfermedades, la adaptación a diferentes entornos de cultivo y otros rasgos fenotípicos importantes.

3. Mejoramiento genético para plantas adaptadas a los sistemas productivos diversificados: Desarrollar nuevas variedades de cacao que sean productivas, resistentes a enfermedades y adecuadas para sistemas productivos diversificados, como los sistemas agroforestales.

Ejemplos de proyectos de investigación y conservación

- Se destacó que el CATIE en colaboración con otras instituciones, ha realizado varias expediciones en la Amazonia ecuatoriana para recolectar muestras de cacao y establecer jardines clonales y colecciones vivas.
- Estas actividades ayudan a preservar la diversidad genética y a caracterizar los recursos genéticos mediante técnicas avanzadas como la secuenciación de ADN y la evaluación de resistencia a enfermedades (Ji et al., 2013; Zhang et al., 2011).

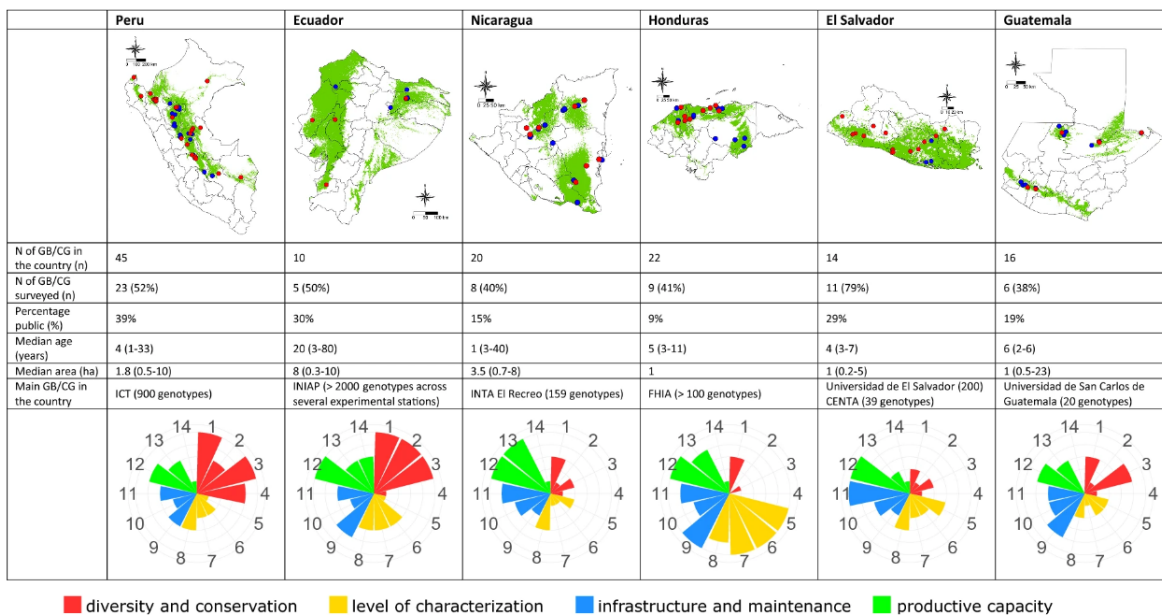


Figura 22. Información descriptiva de los bancos de genes y jardines clonales de cacao (GB/CG) en los seis países (Fuente: Ceccarelli et al., 2022).

- Se destacó el programa de mejoramiento genético de cacao del CATIE, que consta de varias etapas para desarrollar nuevas variedades. Comienza con la selección de los mejores genotipos de una amplia colección internacional y realiza cruzamientos controlados. Los descendientes son evaluados en ensayos híbridos durante 5 a 7 años, seguidos por ensayos clonales en diversas estaciones experimentales. Este riguroso proceso, que dura entre 16 y 20 años, culmina con la distribución de variedades mejoradas a los productores, asegurando que sean productivas y resistentes a enfermedades.

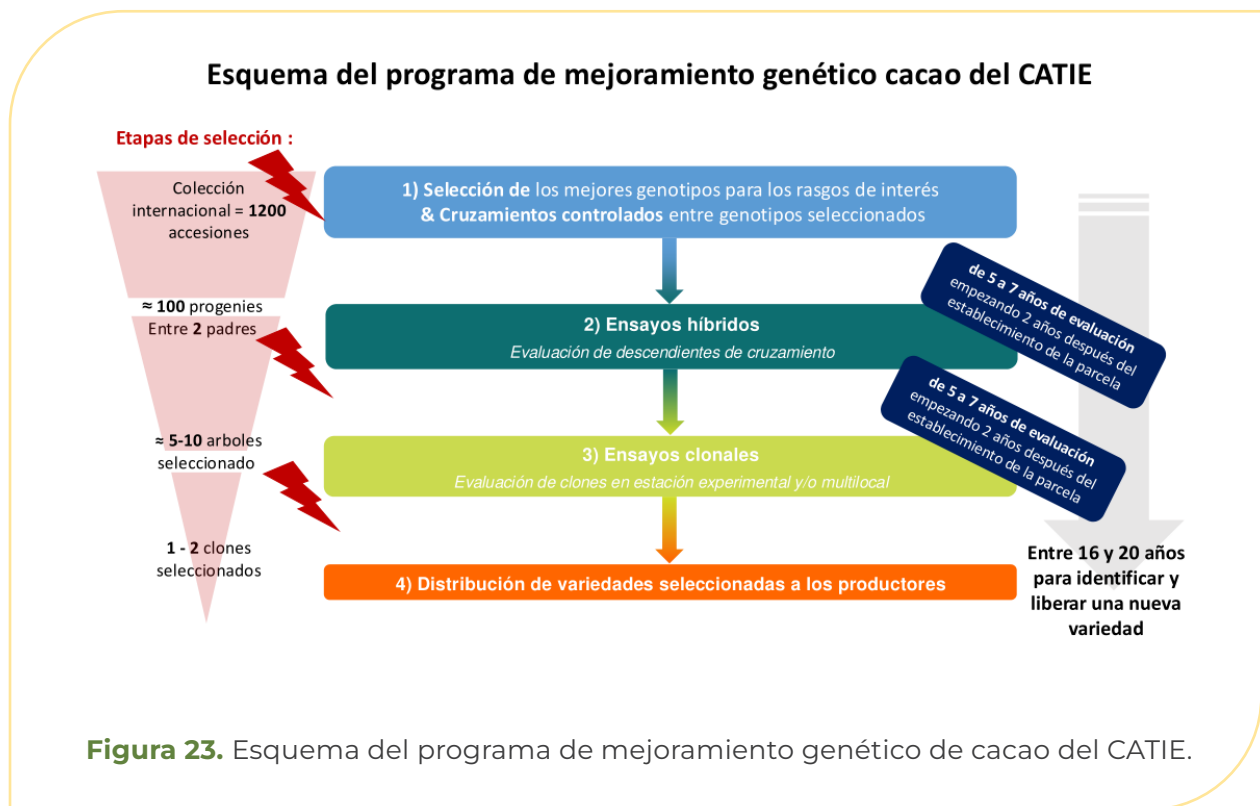


Figura 23. Esquema del programa de mejoramiento genético de cacao del CATIE.

- Actualmente el CATIE cuenta con una colección internacional de dominio público con más de 1200 accesiones de las cuales se han generado 6 clones mejorados liberados en 2007 que se encuentran distribuidos en 10 países de América Central y América Latina.

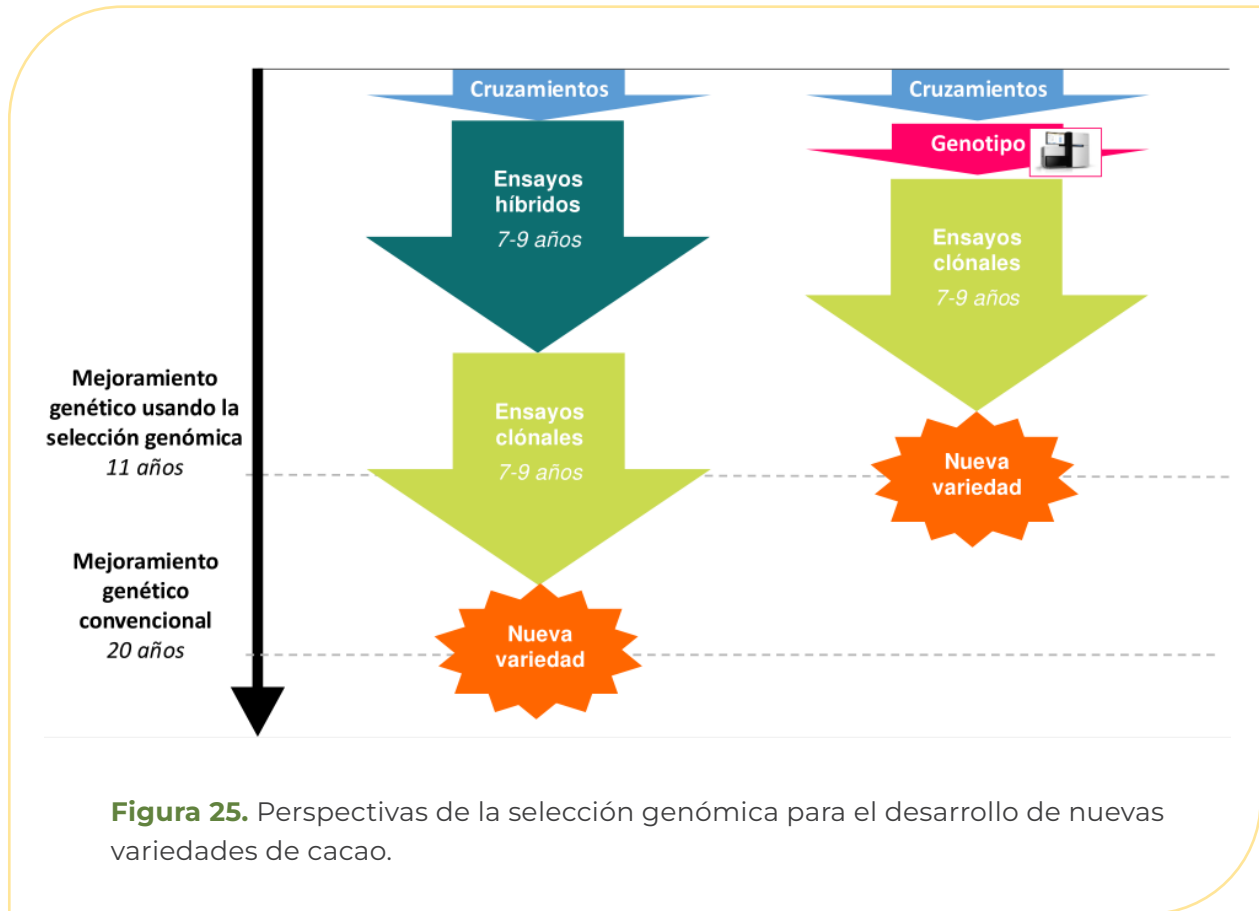


Figura 24. Clones mejorados del CATIE (Phillips Mora et al., 2013).

- Se resaltó que esta colección ha permitido la evaluación de 800 genotipos por su resistencia a enfermedades como monilia y fitoftora, y 332 por su auto-compatibilidad mediante cruces controlados. Además, se han analizado 132 genotipos por su calidad sensorial y características organolépticas y químicas. Toda esta información se ha complementa con bibliografía y documentación técnica sobre resistencia y productividad, permitiendo un enfoque integral en el mejoramiento del cacao.

Implicaciones para el futuro y mejora continua

- Para asegurar la sostenibilidad del cultivo de cacao, la presentación subraya la importancia de la participación comunitaria y la colaboración internacional en la preservación y el mejoramiento genético. Además, se destacó el papel de la selección genómica como una herramienta prometedora para acelerar el desarrollo de nuevas variedades y responder a los desafíos futuros, incluyendo nuevas enfermedades y el impacto del cambio climático (Figura 25).



Conclusiones y reflexiones finales

La sesión concluyó en que la diversidad genética del cacao es esencial para el desarrollo de sistemas agroforestales sostenibles. La alta variabilidad genética, especialmente en América del Sur y Central, proporciona una rica fuente de genes que pueden ser utilizados para mejorar la resistencia a enfermedades y adaptabilidad a condiciones cambiantes, como el cambio climático. Esta diversidad es crucial no solo para la sostenibilidad del cacao como cultivo, sino también para la sostenibilidad ecológica de los sistemas agroforestales en general.

Como reflexiones, se subrayó la importancia de adoptar un enfoque holístico que combine la conservación genética, el mejoramiento del cultivo y la gestión sostenible de los recursos. Además, se sugiere un proceso más participativo en el desarrollo de criterios de selección para el mejoramiento genético, involucrando a productores, cooperativas, institutos de investigación y otros actores clave del sector.

Preguntas de evaluación

1	La mayor parte de la diversidad genética del cacao se encuentra en África. <input type="checkbox"/> Verdadero <input type="checkbox"/> Falso
2	A la fecha, la especie <i>Theobroma cacao</i> tiene al menos 10 grupos genéticos distintos. <input type="checkbox"/> Verdadero <input type="checkbox"/> Falso
3	La diversidad genética del cacao sólo se encuentra en las colecciones internacionales, que son bancos de germoplasma. <input type="checkbox"/> Verdadero <input type="checkbox"/> Falso
4	Se tarda al menos 15 años en identificar una nueva variedad/clon en un programa de mejora genética de cacao. <input type="checkbox"/> Verdadero <input type="checkbox"/> Falso
5	Los árboles de cacao provenientes de semillas híbridas son todos idénticos, es decir; tienen las mismas características fenotípicas (color y tamaño de la mazorca, peso de los granos, resistencia a las enfermedades, etc....). <input type="checkbox"/> Verdadero <input type="checkbox"/> Falso

Literatura citada y relacionada con el tema

- Ceccarelli, V., Lastra, S., Loor Solórzano, R. G., Chacón, W. W., Nolasco, M., Sotomayor Cantos, I. A., Plaza Avellán, L. F., López, D. A., Fernández Anchundia, F. M., Dessauw, D., Orozco-Aguilar, L., & Thomas, E. (2022). Conservation and use of genetic resources of cacao (*Theobroma cacao* L.) by gene banks and nurseries in six Latin American countries. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 69(3), 1283-1302. <https://doi.org/10.1007/s10722-021-01304-3>
- Fouet, O., Loor Solorzano, R. G., Rhoné, B., Subía, C., Calderón, D., Fernández, F., Sotomayor, I., Rivallan, R., Colonges, K., Vignes, H., Angamarca, F., Yaguana, B., Costet, P., Argout, X., & Lanaud, C. (2022). Collection of native L. accessions from the Ecuadorian Amazon highlights a hotspot of cocoa diversity. *PLANTS, PEOPLE, PLANET*, 4(6), 605-617. <https://doi.org/10.1002/ppp3.10282>
- Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. (2018). Catálogo de clones de cacao. <https://www.caja-pdf.es/2018/12/04/catalogo-de-clones-de-cacao-fida-grun2018/catalogo-de-clones-de-cacao-fida-grun2018.pdf>
- Ji, K., Zhang, D., Motilal, L. A., Boccara, M., Lachenaud, P., & Meinhardt, L. W. (2013). Genetic diversity and parentage in farmer varieties of cacao (*Theobroma cacao* L.) from Honduras and Nicaragua as revealed by single nucleotide polymorphism (SNP) markers. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 60(2), 441-453. <https://doi.org/10.1007/s10722-012-9847-1>
- López, M., Ramírez, O., & Dubón, A. (2021). Catálogo de cultivares de cacao (*Theobroma cacao*) evaluados y seleccionados por la FHIA. https://www.researchgate.net/publication/356222182_Catalogo_de_cultivares_de_cacao_Theobroma_cacao_evaluados_y_seleccionados_por_la_FHIA
- Philips Mora, W., & Cerda Bustillo, R. (2011). *Catálogo: Enfermedades del cacao en Centroamérica*. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). <http://192.168.2.14/xmlui/handle/123456789/1453>
- Phillips Mora, W., Arciniegas Leal, A., Mata Quirós, A., & Motamayor Arias, J. C. (2013). Catálogo de clones de cacao seleccionados por el CATIE para siembras comerciales. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). <https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/7280>
- Rodríguez-Medina, C., Sounigo, O., Benalcázar, R. Y., Guerrero, G. A. R., & García, D. A. M. (s. f.). Programa de mejoramiento genético de cacao en Colombia. En Editorial AGROSAVIA. <https://doi.org/10.21930/agrosavia.analisis.7406498>
- Thomas, E., Zonneveld, M. van, Loo, J., Hodgkin, T., Galluzzi, G., & Etten, J. van. (2012). Present Spatial Diversity Patterns of *Theobroma cacao* L. in the Neotropics Reflect Genetic Differentiation in Pleistocene Refugia Followed by Human-Influenced Dispersal. *PLOS ONE*, 7(10), e47676. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0047676>
- Zhang, D., Gardini, E. A., Motilal, L. A., Baligar, V., Bailey, B., Zuñiga-Cernades, L., Arevalo-Arevalo, C. E., & Meinhardt, L. (2011). Dissecting Genetic Structure in Farmer Selections of *Theobroma Cacao* in the Peruvian Amazon: Implications for on Farm Conservation and Rehabilitation. *Tropical Plant Biology*, 4(2), 106-116. <https://doi.org/10.1007/s12042-010-9064-z>

Diversidad genética de café como base para el diseño de SAF sostenibles

William Solano, PhD.
wsolano@catie.ac.cr

Síntesis de la sesión

La sesión abordó la importancia de la diversidad genética del café como base para desarrollar sistemas agroforestales sostenibles. Se destaca que la baja variabilidad genética en las especies comerciales de café representa un gran desafío para enfrentar amenazas como plagas, enfermedades y el cambio climático. En este contexto, la Colección Internacional de Germoplasma de Café del CATIE se presenta como una de las más importantes del mundo. Esta colección conserva una amplia diversidad genética, que es crucial para el mejoramiento y la investigación del café, proporcionando un banco de recursos vital para abordar los desafíos actuales.

Los objetivos de esta colección incluyen la conservación a largo plazo y la caracterización genética y morfológica de las diferentes variedades. Estos esfuerzos son fundamentales para el programa de mejoramiento genético, que busca aumentar la resistencia a enfermedades, mejorar la productividad y reducir la mortalidad de las plantas.

Se destaca el uso de materiales silvestres y variedades “reliquia” que presentan una excelente calidad de taza y resistencia a enfermedades, lo que los hace esenciales como progenitores en los programas de mejoramiento. Estos materiales aportan la variabilidad necesaria para desarrollar nuevas variedades más robustas y adaptables. En

cuanto al mejoramiento genético, se describen esquemas de producción de híbridos F1 que combinan resistencia, calidad y productividad. Estos híbridos son evaluados en múltiples regiones para identificar aquellos con el mayor potencial, asegurando que las nuevas variedades sean adaptables a diversas condiciones.

La propagación por estaquillas se presenta como una alternativa eficiente para la multiplicación de híbridos, permitiendo una producción más rápida y rentable. Además, se desarrollan nuevas generaciones de híbridos para mejorar tanto la resistencia como la calidad del café, asegurando su sostenibilidad a largo plazo. Finalmente, se enfatiza la interacción genotipo x ambiente y la importancia de la diversidad genética para enfrentar futuros desafíos. Esta diversidad es esencial para garantizar que el café continúe siendo una bebida estimulante popular a nivel mundial.

Objetivo de la sesión

- El objetivo central de la sesión es conocer y promover la utilización de la diversidad genética existente en las variedades de café para aumentar la sostenibilidad y la resiliencia de los sistemas agroforestales, especialmente en el contexto del cambio climático y la creciente incidencia de enfermedades. La sesión enfatiza la necesidad de conservar y utilizar la diversidad genética presente en las colecciones internacionales para mejorar las variedades comerciales y desarrollar nuevas adaptaciones más robustas frente a las amenazas emergentes.

Puntos clave abordados en la sesión

Historia y evolución del café

- El café tiene su origen en África, específicamente en Etiopía, donde *Coffea arabica* evolucionó a partir de un cruce natural entre *Coffea eugenioides* y *Coffea canephora*. Esta hibridación espontánea resultó en una especie tetraploide, lo que significa que tiene el doble de cromosomas comparado con sus progenitores diploides (Figura 26).
- La expansión del cultivo de café fuera de África llevó a una reducción significativa en la diversidad genética, con menos de 10 materiales genéticos originales introducidos en América Latina, creando una vulnerabilidad genética considerable a plagas y enfermedades.

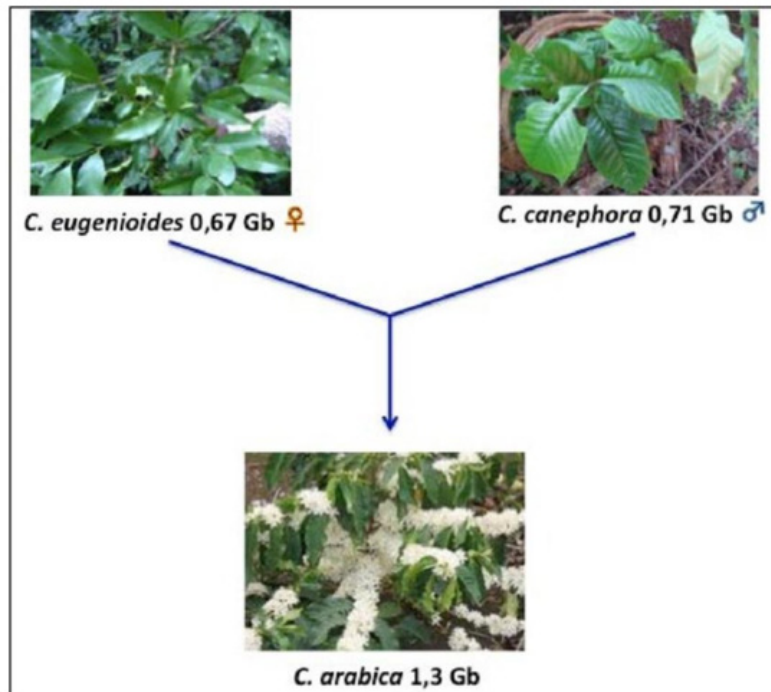


Figura 26. Hibridación del *C. eugenioides* y *C. canephora*.

La vulnerabilidad del café ante el cambio climático y las enfermedades

- Uno de los principales temas abordados fue la gran vulnerabilidad del café, específicamente el *Coffea arabica*, ante los efectos del cambio climático y el avance de las enfermedades, en especial la roya.
- Se explicó que debido a la baja diversidad genética de las variedades comerciales de café arábica, la producción global de café enfrenta una serie de amenazas que podrían poner en peligro su sostenibilidad a largo plazo.
- Según estudios recientes, las áreas adecuadas para el cultivo del café podrían reducirse drásticamente en las próximas décadas debido al aumento de las temperaturas, cambios en los patrones de precipitación y la propagación de enfermedades y plagas. Ejemplos como el híbrido de Timor, que es un cruce natural entre *Coffea arabica* y *Coffea canephora*, muestran la importancia de los híbridos resistentes a enfermedades.
- Estas amenazas no solo afectarán la producción del grano en términos de cantidad, sino que también tendrán un impacto en la calidad del café y en la biodiversidad asociada a las plantaciones. Las abejas, por ejemplo, juegan un papel clave en la polinización del café, y su disminución debido al cambio climático también podría agravar la crisis en la producción cafetalera. Este escenario subraya la necesidad urgente de desarrollar variedades más resilientes y adaptadas a las condiciones climáticas futuras.

Importancia de la diversidad genética

- Un tema central en la sesión fue la relevancia de la Colección Internacional de Germoplasma de Café del CATIE, que se ha convertido en un recurso invaluable para los investigadores y productores. Esta colección, que alberga cerca de 2,000 accesiones, es la cuarta más grande del mundo y la segunda más importante de América Latina. Sin embargo, lo más relevante es que es la única que se encuentra bajo dominio público, lo que significa que los materiales genéticos conservados en el CATIE están disponibles para ser compartidos con cualquier institución o persona que los solicite, lo que la convierte en una fuente estratégica para los programas de mejoramiento genético en todo el mundo.

Tipo de material	Número de accesiones	Número de plantas
Material silvestre (incluye 22 especies diploides)	621	4457
Otras especies de interés agronómico (robusta y especies de interés comercial)	156	673
Variedades antiguas	837	4554
Variedades de mayor demanda para investigación o el sector cafetalero	40	209
Híbridos, materiales irradiados	325	2598
Total	1979	12491

Figura 27. Constitución de la colección internacional de café del CATIE.

- La colección del CATIE contiene tanto variedades comerciales como especies silvestres de café que han sido colectadas en su hábitat natural, principalmente en África, la cuna del café. Este material genético es de vital importancia para enfrentar los desafíos actuales del cultivo, ya que muchas de estas especies silvestres poseen características de resistencia a enfermedades y adaptaciones a condiciones ambientales extremas que las variedades comerciales no tienen. El uso de esta diversidad genética ha permitido la creación de nuevas variedades que no solo son más resistentes a enfermedades, sino también más adaptadas a diferentes condiciones ambientales, lo cual es esencial para mantener la producción en un clima cambiante.

Programas de mejoramiento genético

- Se describieron los programas de mejoramiento genético que se han implementado en los últimos años para enfrentar las amenazas del cambio climático y las enfermedades. Estos programas se basan en el uso de material genético diverso, incluyendo híbridos entre variedades comerciales y especies silvestres de café, lo que ha permitido la creación de variedades con una mayor resistencia a enfermedades como la roya y mejores características de producción.
- Entre los resultados más importantes de estos programas se encuentran los híbridos F1, como los catimores y sarchimores, que son el resultado del cruce entre variedades comerciales y el híbrido de Timor, una variedad que ha demostrado resistencia a la roya.

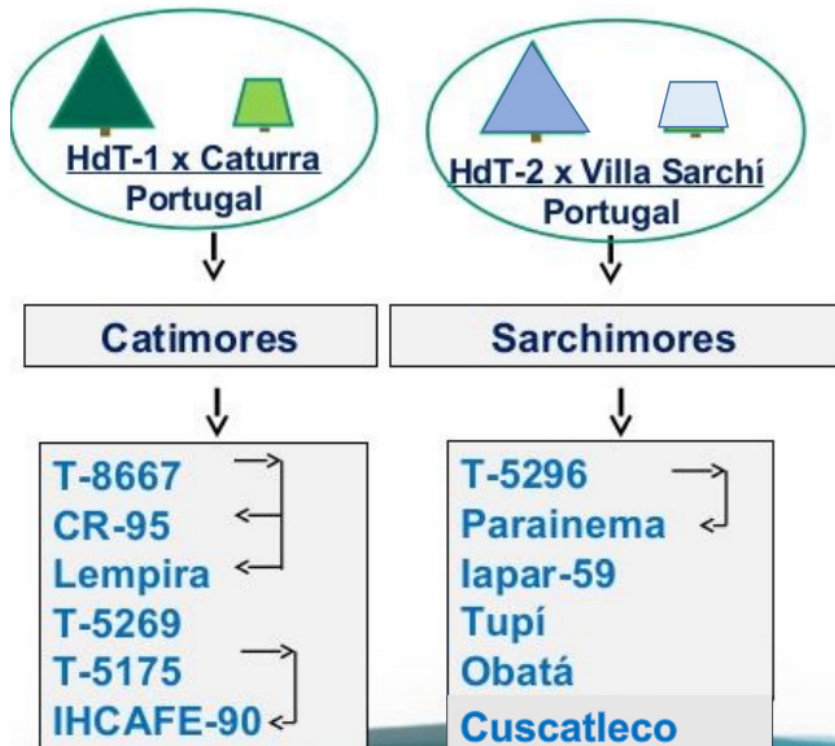


Figura 28. Variedades derivadas del híbrido Timor.

- Estos híbridos no solo tienen resistencia a enfermedades, sino que también presentan buenas características organolépticas y un rendimiento productivo superior. Gracias a los avances en el mejoramiento genético, los productores en América Latina han podido acceder a estas variedades, lo que ha mejorado significativamente la resiliencia de los cafetales en la región.
- El programa de mejoramiento genético del CATIE ha sido pionero en la identificación de fuentes de resistencia a enfermedades, y ha trabajado en colaboración con otras instituciones internacionales para desarrollar nuevas variedades adaptadas a las necesidades actuales del mercado, como el híbrido Centroamericano, que combina alta productividad, tolerancia a enfermedades y excelente calidad de taza.



Figura 29. Características de los híbridos F1 desarrollados por el CATIE.

La historia del café en América Latina

- La sesión incluyó una revisión detallada de la historia del *Coffea arabica* en América Latina, que comenzó hace aproximadamente 300 años cuando las primeras semillas de café fueron traídas desde Yemen. Las dos principales líneas genéticas que llegaron al continente fueron las variedades Típica y Borbón, que rápidamente se expandieron a lo largo de la región y se convirtieron en la base genética de las plantaciones de café.
- Sin embargo, debido a que estas dos variedades derivan de un grupo extremadamente reducido de plantas, la diversidad genética de las plantaciones de café en América Latina es muy baja, lo que las hace altamente vulnerables a plagas y enfermedades.
- Se explicó que las variedades comerciales actuales, a pesar de sus buenas características de producción y calidad, provienen de un conjunto genético muy estrecho, lo que las hace susceptibles a eventos como la crisis de la roya que afectó a la región en 2012. Por esta razón, es fundamental que los programas de mejoramiento genético continúen desarrollando nuevas variedades que amplíen la base genética de las plantaciones.

Diversificación en las fincas

- Se recomienda a los productores diversificar sus fincas como una estrategia clave para aumentar la resiliencia de las plantaciones de café ante los desafíos del cambio climático y las plagas. La diversificación implica la siembra de diferentes variedades de café en la misma finca, lo que permite aprovechar las características particulares de cada variedad para adaptarse mejor a las condiciones locales.
- Esta estrategia no solo reduce la vulnerabilidad de las fincas a plagas y enfermedades, sino que también puede mejorar la calidad de los productos. Algunas variedades tienen mejor rendimiento en determinadas altitudes o condiciones climáticas, mientras que otras son más apreciadas por su calidad de taza o su resistencia a enfermedades. Al introducir varias variedades en una misma finca, los productores pueden obtener beneficios tanto en términos de cantidad como de calidad, mientras reducen los riesgos asociados a depender de una sola variedad.

- Además, se mencionó que el CATIE recomienda esta práctica no solo en la producción de café, sino también en cultivos como el cacao, donde la diversificación de clones ha mostrado ser una estrategia eficaz para mejorar la producción y reducir la incidencia de enfermedades.

Perspectivas futuras y estrategias de conservación

- La conservación a largo plazo de la diversidad genética en colecciones internacionales es fundamental. Estas colecciones no solo conservan la diversidad genética existente, sino que también proporcionan el material necesario para programas de mejoramiento genético que puedan enfrentar los desafíos futuros.
- La creación de nuevas generaciones de híbridos mediante el uso de materiales silvestres y la combinación de diferentes características genéticas es una estrategia clave para enfrentar los desafíos de cambio climático y enfermedades emergentes.

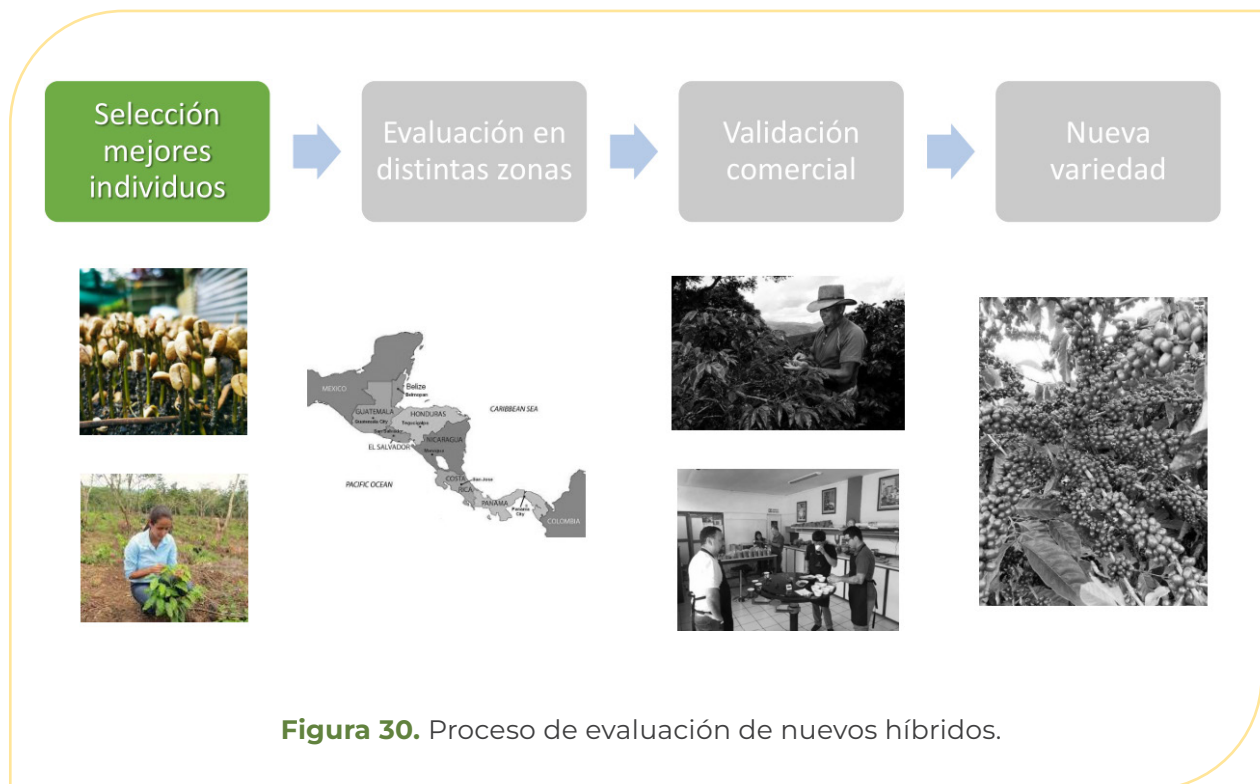


Figura 30. Proceso de evaluación de nuevos híbridos.

Conclusiones y reflexiones finales

Se concluye que la diversidad genética es fundamental para la sostenibilidad del café como cultivo. Con la creciente amenaza del cambio climático y las enfermedades, el uso estratégico de la diversidad genética en programas de mejoramiento es esencial para desarrollar variedades más resilientes y sostenibles. Las colecciones internacionales de germoplasma, como la del CATIE, son recursos invaluableles que deben ser preservados y utilizados activamente.

Se invita a la reflexión de la audiencia en que la falta de diversidad genética en las plantaciones de café representa una vulnerabilidad significativa que debe abordarse mediante la diversificación de los materiales genéticos utilizados en las plantaciones. Además de que, la combinación de resistencia a enfermedades, alta productividad, y calidad de taza en nuevas variedades es posible, pero requiere un enfoque de mejoramiento genético integral que utilice toda la gama de diversidad genética disponible.

Por último, los sistemas agroforestales ofrecen una oportunidad para integrar el cultivo de café con otros elementos del ecosistema, mejorando la sostenibilidad y reduciendo la vulnerabilidad a factores externos como el cambio climático y las enfermedades.

Preguntas de evaluación

1	<p>El origen del C. arabica se da en Etiopía.</p> <p><input type="checkbox"/> Verdadero</p> <p><input type="checkbox"/> Falso</p>
2	<p>La mutación natural Caturra del C. arabica se da en Brasil.</p> <p><input type="checkbox"/> Verdadero</p> <p><input type="checkbox"/> Falso</p>
3	<p>La colección internacional de café del CATIE es la más importante de C. arabica en el mundo bajo dominio público.</p> <p><input type="checkbox"/> Verdadero</p> <p><input type="checkbox"/> Falso</p>
4	<p>El grupo Geisha del C. arabica no ha tenido gran éxito en el mercado Internacional.</p> <p><input type="checkbox"/> Verdadero</p> <p><input type="checkbox"/> Falso</p>
5	<p>No existen variedades de C. arabica resistentes a la enfermedad "Ojo de Gallo" (Mycena citricolor).</p> <p><input type="checkbox"/> Verdadero</p> <p><input type="checkbox"/> Falso</p>

Literatura citada y relacionada con el tema

Krishnan, S., Pruvot-Woehl, S., Davis, A. P., Schilling, T., Moat, J., Solano, W., Al Hakimi, A., & Montagnon, C. (2021). Validating South Sudan as a Center of Origin for *Coffea arabica*: Implications for Conservation and Coffee Crop Improvement. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 5. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2021.761611>

Montagnon, C., Mahyoub, A., Solano, W., & Sheibani, F. (2021). Unveiling a unique genetic diversity of cultivated *Coffea arabica* L. in its main domestication center: Yemen. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 68(6), 2411-2422. <https://doi.org/10.1007/s10722-021-01139-y>

Scalabrin, S., Toniutti, L., Di Gaspero, G., Scaglione, D., Magris, G., Vidotto, M., Pinosio, S., Cattonaro, F., Magni, F., Jurman, I., Cerutti, M., Suggi Liverani, F., Navarini, L., Del Terra, L., Pellegrino, G., Ruosi, M. R., Vitulo, N., Valle, G., Pallavicini, A., ... Bertrand, B. (2020). A single polyploidization event at the origin of the tetraploid genome of *Coffea arabica* is responsible for the extremely low genetic variation in wild and cultivated germplasm. *Scientific Reports*, 10(1), 4642. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-61216-7>

Diagnóstico y diseño del dosel de sombra (cacao, café, etc.)

Luis Orozco Aguilar, PhD.
luisoroz@catie.ac.cr

Síntesis de la sesión

El dosel de sombra, comprendido como el volumen de vegetación en una plantación, es un elemento clave en sistemas policultivos multiestratificados. El diseño del dosel, considerando la zonificación agroecológica y los requerimientos de sombra de cada cultivo, es esencial para crear un microclima propicio para el crecimiento de las plantas. La elección de especies y la disposición de los árboles permiten lograr una cobertura adecuada y un equilibrio en el sistema.

Se introduce la metodología para analizar y mejorar el dosel de sombra, enfatizando que no existen recetas universales, ya que cada plantación es única. La evaluación se realiza respondiendo a tres preguntas básicas sobre los bienes y servicios esperados, la cantidad de sombra necesaria y las especies adecuadas para el dosel.

Se destaca que la evaluación del estado de la plantación y las condiciones del sitio son fundamentales. Aspectos como la fertilidad del suelo, la disponibilidad de agua, la topografía y la vegetación colindante influyen en el diseño del dosel. La sombra lateral y la ubicación geográfica también juegan un papel importante, afectando la cantidad de luz que recibe el cultivo.

Finalmente, se aborda la importancia de seleccionar especies adecuadas para el dosel de sombra. Se deben considerar sus características morfológicas y funcionales, como el uso, altura, opacidad y caducifolia. La propuesta de mejora debe cumplir con atributos clave como superioridad, compatibilidad, simplicidad, factibilidad y observabilidad para ser adoptada exitosamente por los productores.

Objetivo de la sesión

- La sesión tiene como objetivos mejorar la comprensión del concepto de dosel de sombra en sistemas agroforestales (SAF) de café y cacao, describiendo su importancia en la provisión de servicios ecosistémicos, realizar un ejercicio práctico para describir un dosel y ofrecer una metodología para su diagnóstico y diseño efectivo.

Puntos clave abordados en la sesión

Definición y descripción del dosel de sombra en sistemas agroforestales

Se definió el dosel de sombra como un volumen que incluye toda la vegetación de una plantación de café o cacao, determinado por las dimensiones horizontales del terreno y la altura máxima de los árboles presentes. Este volumen puede tener diferentes formas (rectangular, triangular, en franjas, etc.) y es crucial para entender cómo se distribuye la sombra sobre el cultivo (Figura 31).

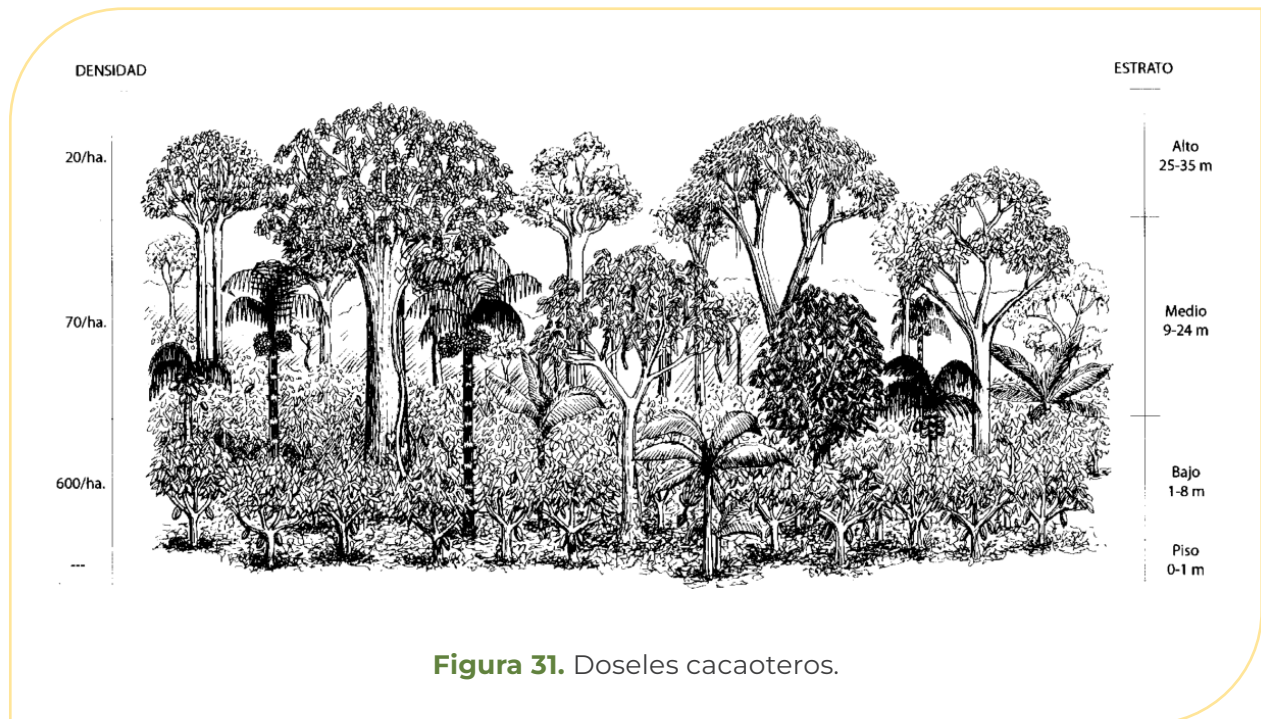


Figura 31. Doseles cacaoteros.

- El concepto de dosel permite analizar el sistema desde una perspectiva tanto horizontal como vertical, lo que es fundamental para entender cómo las plantas interactúan entre sí y con el ambiente. En términos horizontales, el dosel se puede analizar mediante la densidad de siembra y las distancias entre los árboles, mientras que en el plano vertical, se pueden identificar diferentes estratos o niveles de vegetación. Los estratos, que corresponden a las distintas alturas de los árboles, son clave para diseñar un dosel eficiente, donde cada nivel cumple un papel en la provisión de sombra y otros servicios ecosistémicos
- Se enfatizó la diferencia entre “sombra” y “cobertura”. La cobertura se refiere a la superficie cubierta por la proyección vertical de la copa de los árboles en el suelo, que es una medida estática. La sombra, en cambio, se refiere al movimiento dinámico de esa cobertura arbórea a lo largo del día o año. Esta diferencia es clave para el manejo adecuado del dosel en sistemas agroforestales, ya que implica diferentes estrategias de gestión.

- Los participantes discutieron cómo la cobertura se mide en términos de porcentaje del área total de la parcela y cómo puede diferir de la sombra, que es un fenómeno más variable en el tiempo.

Evolución de la sombra y los sistemas agroforestales en café y cacao

- Se discutió cómo los sistemas agroforestales de café y cacao han evolucionado para incorporar diferentes especies arbóreas que optimizan tanto la producción agrícola como los servicios ecosistémicos. La evolución de estos sistemas implica un manejo adaptativo del dosel de sombra para responder a las necesidades cambiantes de los cultivos y a las condiciones del sitio.
- La sesión destacó que el manejo del dosel es crucial para la producción sostenible de café y cacao. Un dosel bien manejado no solo mejora la productividad de café o cacao, sino que también contribuye a la conservación de la biodiversidad.

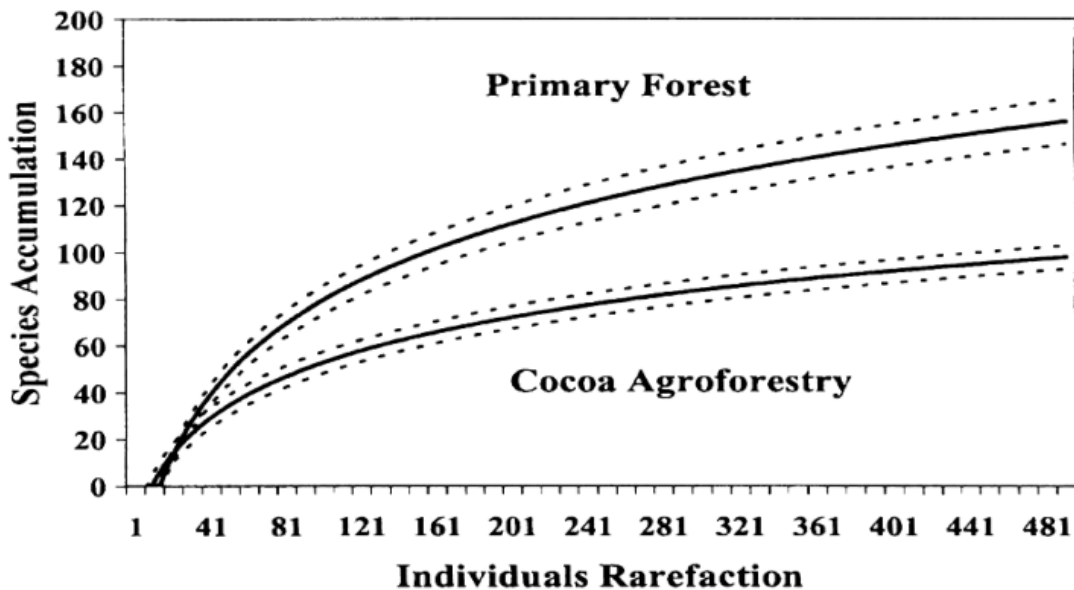


Figura 32. Número esperado de especies en sistemas agroforestales con cacao en Río Doce y en bosque primario. Curvas de rarefacción individuales (líneas sólidas) e intervalos de confianza calculados con 95% (líneas discontinuas).

Metodología para analizar y mejorar el dosel de sombra

- Para mejorar el dosel de sombra, es necesario un diagnóstico preciso que considere las condiciones actuales de la plantación, incluyendo la densidad de árboles, la distribución espacial de las copas, y la calidad del suelo. Este diagnóstico debe responder a preguntas clave sobre los bienes y servicios esperados del dosel, la cantidad de sombra necesaria para una producción óptima, y las especies más adecuadas para cumplir estos objetivos.
- La metodología presentada se basa en la evaluación de variables relacionadas con las estado de la plantación, condiciones del sitio y de las especies arbóreas. Estas variables incluyen la fertilidad del suelo, la disponibilidad de agua, la latitud y orientación de la parcela, la nubosidad y los vientos, y las características morfológicas y funcionales de las especies arbóreas.

Metodología para calcular la cobertura arbórea

- Durante la sesión se presentó una fórmula básica para calcular la cobertura arbórea, utilizando el diámetro de la copa y el índice de opacidad de los árboles. La opacidad se refiere a la cantidad de luz que pasa a través de la copa de un árbol, lo que influye directamente en la cantidad de sombra que proyecta. Se explicó que, al conocer estos dos parámetros (diámetro de copa y opacidad), se puede calcular el área de cobertura de un árbol en metros cuadrados.
- Este cálculo es esencial para saber cuántos árboles plantar en una hectárea para alcanzar un porcentaje de cobertura deseado (ejemplo, 30% de cobertura). También se discutió cómo ajustar la densidad de siembra y la distancia entre los árboles para garantizar una distribución adecuada de la cobertura.

Ojmetro

- 1000 m² (50 m x 20).
- Laurel x 3, 10 m copa, Opacidad 0.75.
- Terminalia x 2, 15 m copa, opacidad 0.85.
- Naranjas 5, 8 m copa, 0.9.
- Cobertura. $AL = 0.7854 \times (100) \times 0.7$
 $AL = 59 \text{ m}^2 \times 3 = 176.7 \text{ m}^2$
 $AT = 150 \text{ m}^2 \times 2 = 300 \text{ m}^2$
- $AN = 45.2 \text{ m}^2 \times 5 = 226 \text{ m}^2$.
- Sumatoria = $728 \text{ m}^2 / 1000 \text{ m}^2 = 73\%$. (8 axes)

Figura 33. Ejemplo de la metodología para el cálculo de la cobertura arbórea utilizando el diámetro de copa e índice de compacidad de dos especies.

Estrategias para mejorar el diseño del dosel

- Se discutieron estrategias clave para mejorar el diseño y manejo del dosel de sombra en los sistemas agroforestales. No existen recetas universales para el manejo del dosel, y cada plantación necesita ser evaluada en su contexto específico. Un aspecto crítico es el ajuste del número de árboles a medida que la plantación envejece.
- A lo largo del tiempo, puede ser necesario realizar raleos (eliminación de algunos árboles) para evitar la auto-sombra (cuando las plantas comienzan a cubrirse entre sí). Asimismo, es importante introducir nuevas especies en los huecos donde la sombra es insuficiente. La sesión destacó la importancia de la flexibilidad en el manejo del dosel, adaptando constantemente el diseño para satisfacer las necesidades cambiantes del cultivo y las condiciones del sitio.

Evaluación del potencial de adopción de prácticas de manejo del dosel

- Se propusieron cinco atributos que deben cumplir las propuestas de mejora para ser adoptadas eficazmente por los productores: superioridad (la mejora debe ser claramente superior a las prácticas actuales), compatibilidad (debe ser compatible con el sistema de producción y los recursos del productor), simplicidad (debe ser fácil de implementar), factibilidad (debe ser posible de realizar con los recursos disponibles), y observabilidad (los resultados deben ser evidentes en el corto o mediano plazo).
- Se sugirieron métodos como la calificación de atributos y la ponderación de su importancia para determinar el valor de las recomendaciones y su adoptabilidad por parte de los productores. Por ejemplo, se calcula un valor de recomendación (V_r) usando una fórmula que considera estos cinco atributos, y se establece que la adoptabilidad deseable debe superar el 70%.

Atributos	Equipo técnico			Productor		
	C	P	C*P	C	P	C*P
Superioridad	5	1		5	0.80	
Compatibilidad	5	0.80		5	1	
Simplicidad	4	0.80		4	0.80	
Factibilidad	5	0.70		3	0.40	
Observabilidad	3	0.60		3	0.60	
V_r	-	-		-	-	
Adoptabilidad (%)	-			-		

Figura 34. Ejemplo de la adoptabilidad de la propuesta para mejorar el dosel de sombra

Ejemplos y ejercicios prácticos para la gestión del dosel

- Durante la sesión, se realizaron ejercicios prácticos para que los participantes comprendieran mejor cómo evaluar y manejar el dosel de sombra en sus propias plantaciones. Esto incluyó la identificación de especies arbóreas adecuadas, la estimación del porcentaje de cobertura arbórea, y el cálculo del número de árboles necesarios para alcanzar un nivel de sombra específico (Figura 35).
- Se presentaron herramientas como el programa de modelación de sombra “ShadeMotion”, que permite a los productores y técnicos simular diferentes configuraciones de dosel y evaluar sus efectos sobre la productividad y los servicios ecosistémicos.

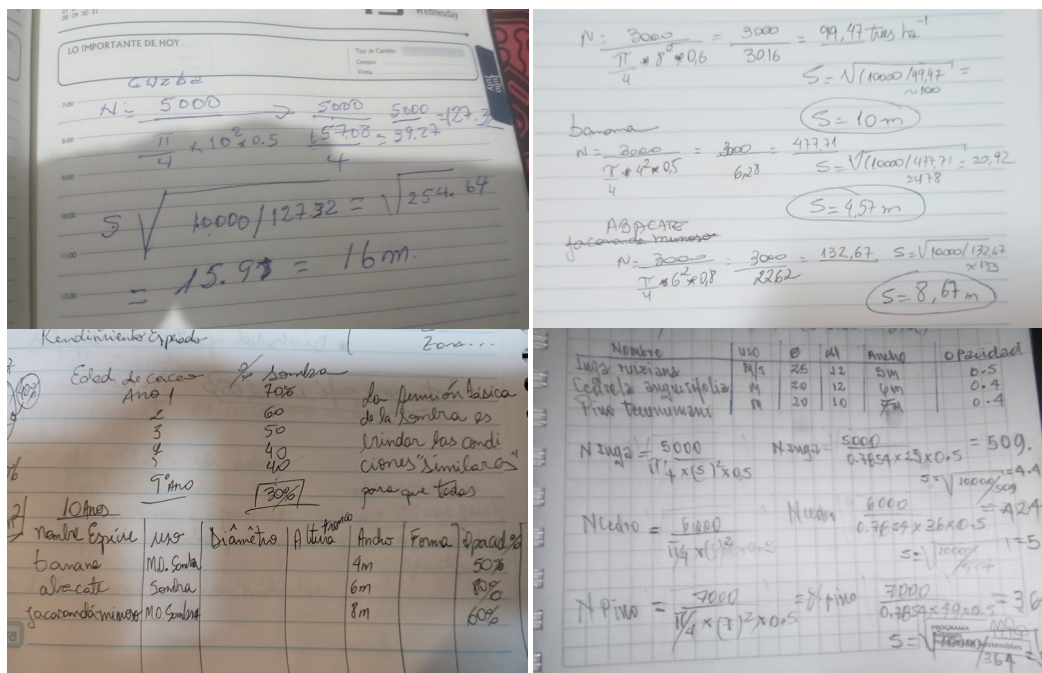


Figura 35. Ejemplos de los ejercicios realizados y compartidos por los participantes de la sesión.

Consideraciones específicas para el manejo del dosel en cacaotales y cafetales

- Se discutieron los diferentes requerimientos de sombra para café y cacao a lo largo de su ciclo de vida, destacando la importancia de ajustar el nivel de sombra según la edad del cultivo y las condiciones ambientales. Por ejemplo, se necesita más sombra en las primeras etapas de desarrollo del cacao para protegerlo del sol intenso, mientras que una cobertura más ligera puede ser preferible durante la floración y el cuajado de frutos.
- Se mencionó que la autosombra (sombra producida por las propias plantas del cultivo) puede limitar el uso de otras especies de sombra. Se deben considerar factores como la edad de la plantación, la especie del cultivo de interés, y la arquitectura de la copa para gestionar adecuadamente la densidad de plantación y la sombra proporcionada.
- La distribución uniforme de la sombra es crucial para garantizar condiciones homogéneas de crecimiento para todas las plantas. Se sugieren prácticas como el raleo de parches densos y la plantación de árboles en huecos sin sombra para mejorar la distribución de la sombra en la plantación.

Beneficios ecosistémicos y productivos del manejo del dosel

- Un manejo adecuado del dosel de sombra puede proporcionar múltiples servicios ecosistémicos, incluyendo la conservación de la biodiversidad, la captura de carbono, y la mejora de la calidad del suelo y el agua. Se discutió cómo los cacaotales, por ejemplo, pueden albergar una gran diversidad de especies vegetales y animales, contribuyendo a la conservación de la biodiversidad local.
- Además de mejorar la producción de café y cacao, un dosel bien manejado puede proporcionar otros productos valiosos, como frutas, madera y leña, diversificando así las fuentes de ingresos para los productores y mejorando la seguridad alimentaria y nutricional de las comunidades locales.

Conclusiones y reflexiones finales

El manejo del dosel de sombra en sistemas agroforestales de café y cacao es una práctica compleja pero crucial para optimizar tanto la producción agrícola como la provisión de servicios ecosistémicos. La flexibilidad y el enfoque adaptativo son fundamentales, ya que cada plantación tiene sus características únicas y necesidades específicas. Los conceptos, herramientas y metodologías presentadas en la sesión proporcionan la base teórica para que los participantes tomen decisiones informadas y eficaces en la gestión del dosel de sombra.

Las reflexiones finales de la sesión invitan a los participantes a integrar un enfoque participativo y adaptativo en el manejo de sistemas agroforestales, donde los productores sean parte activa en la toma de decisiones y la implementación de prácticas de manejo. La comprensión de los conceptos de sombra y cobertura y su aplicación práctica es esencial para mejorar la sostenibilidad y productividad de los sistemas de café y cacao.

Preguntas de evaluación

1	<p>El dosel de sombra son todas las plantas de cobertura del suelo de un cacaotal/cafetal.</p> <p><input type="checkbox"/> Verdadero</p> <p><input type="checkbox"/> Falso</p>
2	<p>Porcentaje de cobertura y % de sombra son los mismo.</p> <p><input type="checkbox"/> Verdadero</p> <p><input type="checkbox"/> Falso</p>
3	<p>La cobertura arbórea (%) es inversamente proporcional a la edad del cultivo.</p> <p><input type="checkbox"/> Verdadero</p> <p><input type="checkbox"/> Falso</p>
4	<p>La opacidad de la copa de una especie se refiere a que tan abierta o cerrada en la copa de ese árbol.</p> <p><input type="checkbox"/> Verdadero</p> <p><input type="checkbox"/> Falso</p>
5	<p>La división entre el diámetro de copa y el DAP define la relación alométrica de clave para construir nomogramas de cobertura.</p> <p><input type="checkbox"/> Verdadero</p> <p><input type="checkbox"/> Falso</p>

Literatura citada y relacionada con el tema

- Farfán, F., Bermúdez, L., y González, N. (2016). Evaluación de herramientas para valorar el porcentaje de sombra en sistemas agroforestales con café. CENICAFE. <https://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/4177/1/AVT0472.pdf>
- Somarriba, E. (2002). Estimación visual de la sombra en cacaotales y cafetales. *Agroforestería en las Américas*, 9, 86-94. https://repositorio.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/6237/Estimacion_visual_de_la_sombra.pdf?sequence=1
- Somarriba, E. (2007). Cocoa and shade trees: production, diversification and environmental services.
- Somarriba, E., & Quesada, F. (2005). El diseño y manejo de la sombra en el cacaotal. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). <https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/1553>
- Somarriba, E., Quesada Chaverri, F., Orozco Aguilar, L., Cerda Bustillos, R., Villalobos Rodríguez, M., Orozco Estrada, S., Astorga Domian, C., Deheuvels, O., Say Chávez, E., & Villegas Cáceres, R. (2011). La sombra del cacao. <https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/2718>
- Somarriba, E., Zamora, R., Barrantes, J., Malek, M., Vargas, E., Sinclair, F., & Quesada, F. (2020). *ShadeMotion: El análisis de patrones de sombra de árboles*. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). <https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/11594>
- Somarriba E. 2002. Estimación visual de la sombra en cafetales y cacaotales. *Agroforestería en las Américas*, 41-42. https://repositorio.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/6941/Como_evaluar_y_mejorar.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Enfoque de patosistema como base para el manejo integrado de plagas y enfermedades en SAF café y cacao

Mariela E. Leandro Muñoz, PhD.
mleandro@catie.ac.cr

Síntesis de la sesión

La temática abordada en la sesión resalta el enfoque del patosistema como base para el Manejo Integrado de Plagas y Enfermedades (MIP) en sistemas agroforestales de cacao, el cual consiste básicamente como en la cuidadosa integración de las técnicas de control disponibles para desfavorecer el desarrollo de las poblaciones de plagas y enfermedades.

El MIP se compone de cuatro componentes esenciales: patógeno, ambiente, hospedero y acciones del productor. Cada uno de estos elementos debe ser comprendido y gestionado en conjunto para ser efectivo. Se hace énfasis en el uso de variedades resistentes a plagas, que pueden provenir tanto de centros de investigación como de selección por parte de los productores. El componente patógeno es analizado a través de sus características biológicas y epidemiológicas. Por ejemplo, las enfermedades como la moniliasis y la mazorca negra tienen ciclos de vida y susceptibilidades diferentes que deben ser reconocidos para un control efectivo. El ambiente también juega un papel crucial, ya que las variables climáticas pueden afectar el desarrollo de estos patosistemas, alterando la resistencia y facilitando la infestación.

Se discuten los efectos del cambio climático, que intensifica estas dinámicas al modificar temperatura y patrones de lluvia, desplazando plagas a nuevas regiones y fortaleciendo patógenos secundarios. En respuesta, el manejo adecuado del suelo y la sombra se vuelve esencial. Un dosel de sombra bien distribuido y moderado es ideal para mantener un ambiente equilibrado en los cacaotales. El uso de herramientas tecnológicas, como el software ShadeMotion, permite proyectar y optimizar la sombra en los cacaotales. Además, se destaca la importancia de elaborar planes de MIP que incluyan prácticas generales y el uso de productos químicos o biopesticidas de manera preventiva. Los biológicos también son considerados, aunque requieren más investigación a gran escala.

Para finalizar, se abordan indicadores de efectividad del MIP, como la incidencia y severidad de plagas, así como la pérdida de rendimiento. Estos indicadores ayudan a evaluar si el manejo está siendo efectivo y permiten ajustar las estrategias para mejorar la producción y salud del cultivo.

Objetivo de la sesión

- El objetivo central de la sesión fue proporcionar un enfoque detallado sobre el Manejo Integrado de Plagas (MIP) en sistemas agroforestales, con un énfasis particular en el cacao, de manera que provea a los participantes conocimientos y estrategias prácticas para identificar, prevenir y controlar plagas y enfermedades en cacao, utilizando el concepto del patosistema. Además, se exploró cómo los cambios en las condiciones ambientales, como el cambio climático, afectan la dinámica de las plagas y la resistencia de los cultivos, subrayando la importancia de adaptar las prácticas de manejo a estas nuevas realidades.

Puntos clave abordados en la sesión

Fundamentos del manejo integrado de plagas:

- El Manejo Integrado de Plagas (MIP) se fundamenta en la integración de distintas técnicas para prevenir y controlar plagas de manera eficiente. Un enfoque integral que considere todos los elementos involucrados en el desarrollo de plagas es fundamental para lograr un control efectivo a largo plazo.
- En la sesión se explicó que, para que una enfermedad se desarrolle en una plantación de cacao, deben estar presentes cuatro componentes principales: el patógeno (el organismo que causa la enfermedad), el hospedero (las plantas de cacao susceptibles), el ambiente (las condiciones climáticas que favorecen el desarrollo del patógeno) y las acciones del productor (las prácticas de manejo que realiza en su finca).

Patosistema y su importancia en el MIP

- El concepto de patosistema se destacó como la base para un MIP efectivo. Este enfoque considera cuatro componentes esenciales:
 - **Patógeno:** La sesión detalló la biología y epidemiología de los principales patógenos que afectan al cacao, como la moniliasis y la mazorca negra. Se enfatizó la necesidad de entender el ciclo de vida de estos patógenos, incluyendo cómo se desarrollan, se diseminan, y las condiciones que favorecen su propagación. Por ejemplo, la moniliasis tiene un ciclo de vida largo, lo que permite un mayor tiempo de respuesta para las medidas de control antes de que la enfermedad se vuelva virulenta.
 - **Hospedero:** Se discutió la importancia de utilizar variedades de cacao resistentes a enfermedades. La resistencia genética es una herramienta clave en el manejo de plagas, y la selección de variedades debe basarse en la resistencia a enfermedades como la moniliasis y la mazorca negra. Se presentaron ejemplos de variedades mejoradas que han demostrado ser más resistentes en diversas condiciones agroclimáticas.

- **Ambiente:** El ambiente, incluyendo factores climáticos como la temperatura y la humedad, así como el manejo del suelo y la sombra, juega un papel crucial en la incidencia de enfermedades. La presentación explicó cómo las variaciones en estos factores pueden afectar la resistencia de las plantas y la eficacia de las prácticas de manejo. Por ejemplo, un aumento en la precipitación puede favorecer la diseminación de la mazorca negra, mientras que un manejo adecuado de la sombra puede reducir las condiciones favorables para el desarrollo de patógenos.
- **Acciones del productor:** Las prácticas culturales como la poda, la remoción de frutos enfermos, y la aplicación de productos preventivos fueron subrayadas como medidas esenciales para el control de plagas. Se destacó la importancia de la vigilancia continua y la toma de decisiones informadas basadas en la observación de los cultivos y el conocimiento del ciclo de vida de los patógenos.



- La interacción entre estos cuatro componentes es lo que define el desarrollo de una enfermedad, y por lo tanto, el productor debe entender y manejar cada componente para interrumpir el ciclo de vida del patógeno. Este enfoque holístico conocido como "tetraedro de la enfermedad" implica que el productor debe tomar decisiones estratégicas basadas en un análisis completo de su sistema productivo.

Principales enfermedades en cacao

- **Moniliasis:** Identificada como una de las enfermedades más devastadoras para el cacao, la moniliasis afecta principalmente a los frutos jóvenes (Figura 37a). La presentación explicó que debido a su largo periodo de latencia, es difícil de manejar, pero permite una ventana de tiempo para la aplicación de medidas preventivas. Se discutió cómo el manejo cultural, como la eliminación de frutos infectados antes de la esporulación, es crítico para controlar esta enfermedad.
- **Mazorca negra:** Causada por un organismo parecido a un hongo, afecta principalmente a frutos maduros en condiciones de alta humedad. La sesión detalló que la mazorca negra tiene un ciclo de infección más rápido y se disemina principalmente en períodos de alta precipitación (Figura 37b)
- La importancia del manejo del agua y la reducción de la humedad en los cultivos de cacao se destacó como un método clave para controlar la propagación de esta enfermedad

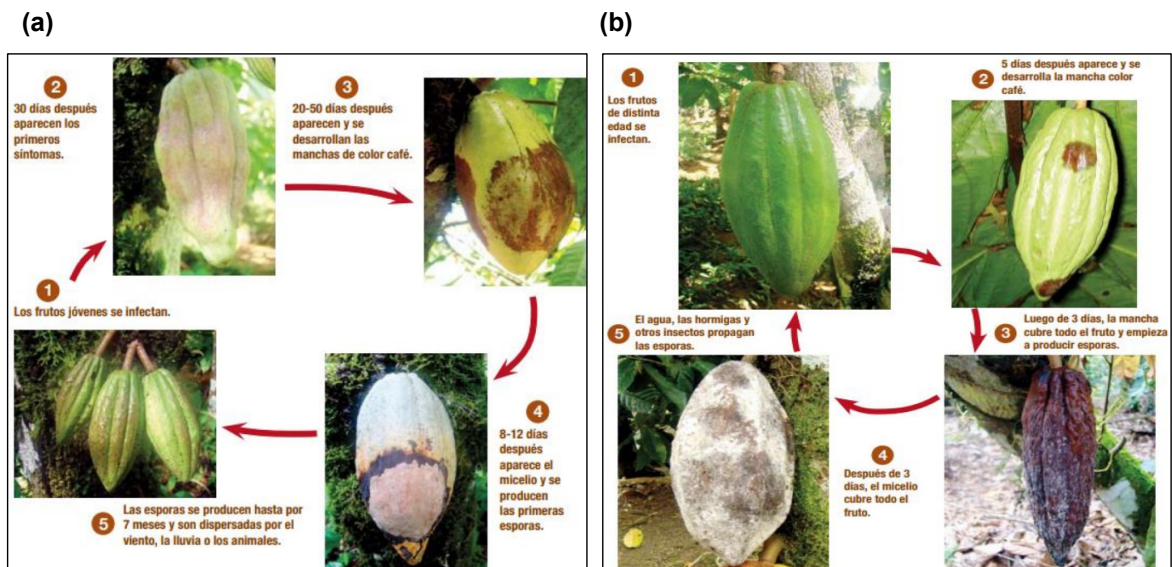


Figura 37. (a) Ciclo biológico de la moniliasis y (b) Ciclo biológico de la mazorca negra.

Impacto del cambio climático en el MIP

- La presentación abordó cómo el cambio climático está alterando la dinámica de las plagas y enfermedades en los sistemas agroforestales de cacao. Se discutió que el aumento de la temperatura y los cambios en los patrones de lluvia están desplazando plagas y enfermedades a nuevas regiones, aumentando la presión sobre los cultivos de cacao. Además, el cambio climático puede debilitar la resistencia de las variedades de cacao que antes eran consideradas resistentes, lo que subraya la necesidad de estrategias de manejo flexibles y adaptativas.

Estrategias de MIP adaptativas

- Se enfatizó la necesidad de un enfoque integrado y adaptativo en el manejo de plagas. Las estrategias discutidas incluyeron:
 1. **Selección de variedades resistentes:** Uso de variedades genéticamente mejoradas que han demostrado resistencia a plagas y enfermedades comunes en cacao.
 2. **Manejo del ambiente (suelo y sombra):** Mantener un equilibrio adecuado en la cobertura de sombra para evitar condiciones excesivamente húmedas o secas que puedan favorecer la proliferación de patógenos. También se destacó la importancia de un manejo adecuado del suelo para asegurar que las plantas estén bien nutridas y más resilientes frente a las infecciones.
 3. **Uso de tecnologías y herramientas digitales:** La integración de herramientas como software para proyectar la sombra en los cacaotales y otros instrumentos tecnológicos para mejorar la toma de decisiones en el manejo de plagas.

Importancia del manejo de la sombra en sistemas agroforestales de cacao

- El manejo adecuado de la sombra en un sistema agroforestal de cacao es fundamental tanto para la salud del cultivo como para el control de plagas y enfermedades. Durante la sesión, se subrayó que un dosel de sombra homogéneo y bien distribuido puede mejorar significativamente las condiciones de crecimiento del cacao, así como reducir la incidencia de plagas.
- Se destacó que una sombra moderada (no superior al 50%) es ideal para los sistemas de cacao. Un exceso de sombra puede aumentar la humedad en el suelo y la copa, lo que favorece la proliferación de enfermedades como la moniliasis y la mazorca negra, que requieren condiciones húmedas para su desarrollo. Por otro lado, una sombra insuficiente puede exponer demasiado a los árboles de cacao al sol, reduciendo su rendimiento y aumentando el estrés hídrico, lo que los hace más susceptibles a las plagas.
- Un aspecto esencial del manejo de la sombra es asegurar una distribución uniforme de los árboles de sombra en la plantación. Se explicó que los sistemas donde hay parches de mucha sombra y parches de mucho sol proporcionan un ambiente favorable para los patógenos, ya que crean zonas con altos niveles de humedad. La clave está en lograr que la sombra sea uniforme, lo que también favorece una temperatura más estable en todo el cacaotal y reduzca las fluctuaciones bruscas que pueden estresar a las plantas.

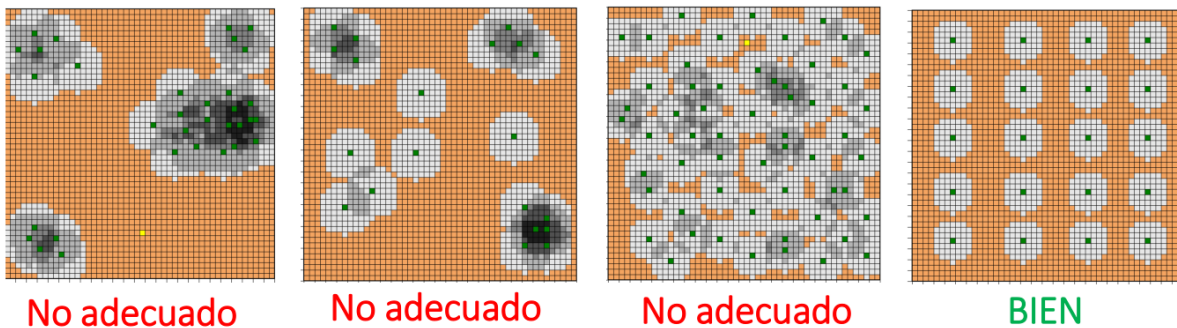


Figura 38. Tipos de distribución de la sombra en sistemas agroforestales.

- Las especies de árboles de sombra también juegan un papel crucial. Se recomendaron árboles de hojas pequeñas y flexibles, ya que permiten una sombra más difusa, lo que ayuda a evitar condiciones de excesiva humedad en el microclima del cacao. Además, estos árboles no deben competir con el cacao por los nutrientes o el agua, y deben ser manejables en términos de su tamaño y crecimiento.
- La poda de los árboles de sombra es otra práctica esencial. Los productores deben realizar podas periódicas para controlar el tamaño y la densidad del dosel de sombra. Las podas no solo aseguran una distribución homogénea de la sombra, sino que también mejoran la circulación de aire, lo que reduce la acumulación de humedad en la plantación y, por ende, la aparición de plagas y enfermedades.
- La sesión destacó que una sombra bien manejada ayuda a los árboles de cacao a mantenerse saludables, lo que incrementa su capacidad para resistir ataques de plagas y enfermedades. Los árboles que crecen bajo condiciones de sombra adecuadas tienden a tener un crecimiento más vigoroso, una mejor fertilidad del suelo y una mayor capacidad para soportar el estrés climático.

Prácticas culturales y control biológico

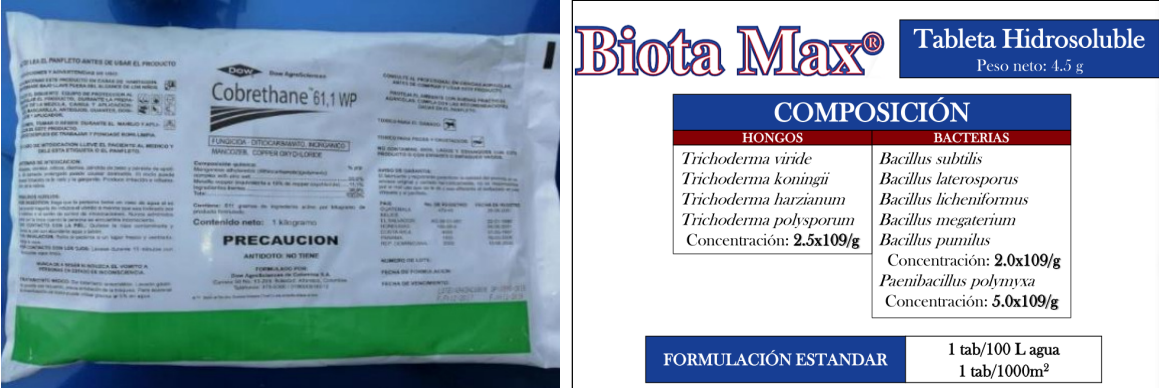
Uno de los pilares del MIP es el manejo cultural, que incluye prácticas como la poda y la eliminación de frutos infectados. La poda, en particular, es una herramienta esencial para reducir la incidencia de plagas y enfermedades. Se explicó que existen dos tipos principales de poda: la poda de formación, que se realiza en los primeros años del árbol para darle una estructura adecuada, y la poda de mantenimiento, que se realiza periódicamente para eliminar ramas muertas, enfermas o que interfieren con el flujo de aire en la plantación. Mantener una buena circulación de aire dentro del cacao tal reduce la humedad, lo que a su vez dificulta la proliferación de patógenos.

MESES	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
FENOLOGÍA												
Pico de floración								X	X			
Mayor presencia de frutos jóvenes										X	X	X
Maduración	X	X	X									
Mayor crecimiento vegetativo			X	X	X							
PRÁCTICAS												
Poda mantenimiento de cacao					X	X						
Poda suave de cacao (raleo)	X											X
Poda de árboles de sombra					X	X						
Deshierbes (Chapia)		X				X				X		
Deschuponas	X					X						
Inicio de cosecha	X											
Época de mayor cosecha		X	X									
Final de la cosecha				X								
Época de menor cosecha						X	X					
Cosecha cada 15 días		X	X									
Poda fitosanitaria cada 8 días									X	X	X	
Poda fitosanitaria cada 15 días							X	X				X
Poda fitosanitaria cada mes	X	X	X	X	X	X						
Purqa				X	X							
Aplicación preventivo									X	X	X	X
Fertilización al suelo				X		X		X				
Fertilización foliar							X			X		
Refalle					X	X						
Injertos en campo					X	X						

Figura 39. Ejemplo de un calendario de prácticas culturales aplicadas al cultivo de cacao.

Uso de fungicidas y alternativas biológicas

- Si bien el MIP busca minimizar el uso de productos químicos, existen situaciones en las que los fungicidas pueden ser necesarios, especialmente como medida preventiva. Se mencionaron algunos productos comunes, como los fungicidas a base de cobre (oxicloruro de cobre y óxido de cobre), que son efectivos para prevenir la germinación de esporas de enfermedades como la moniliasis y la mazorca negra. Sin embargo, el uso de estos productos debe ser cuidadoso y limitado, para evitar la acumulación de residuos en el ambiente y en el producto final.
- Además, se discutieron alternativas biológicas, como el uso de *Trichoderma* y *Bacillus*, que, aunque no combaten directamente los patógenos, pueden mejorar la salud general de las plantas, fortaleciendo su sistema radicular y aumentando su resistencia a las enfermedades. Estas soluciones biológicas son especialmente útiles en sistemas de producción orgánica y representan una opción más sostenible a largo plazo. Se destacó que aunque son útiles, deben ser complementadas con otras prácticas de manejo para ser realmente efectivas.



Cobrethane 61,1 WP
FUNGICIDA OXICORRADO INCRUSTADO
INACTIVO: COPPER OXYCHLORIDEContenido neto: 1 kilogramo
PRECAUCION
ANTICOTO: NO TIENE

Biota Max® Tableta Hidrosoluble
Peso neto: 4,5 g

COMPOSICIÓN	
HONGOS	BACTERIAS
<i>Trichoderma viride</i>	<i>Bacillus subtilis</i>
<i>Trichoderma koningii</i>	<i>Bacillus laterosporus</i>
<i>Trichoderma harzianum</i>	<i>Bacillus licheniformis</i>
<i>Trichoderma polysporum</i>	<i>Bacillus megaterium</i>
Concentración: 2.5x10⁹/g	<i>Bacillus pumilus</i>
	Concentración: 2.0x10⁹/g
	<i>Paenibacillus polymyxa</i>
	Concentración: 5.0x10⁹/g

FORMULACIÓN ESTANDAR
1 tab/100 L agua
1 tab/1000m²

Figura 40. Alternativas para para manejo de enfermedades.

Conclusiones y reflexiones finales

La presentación concluyó con varias reflexiones clave:

- **Adaptabilidad y resiliencia:** Los sistemas agroforestales de cacao deben ser diseñados y manejados de manera que sean adaptables y resilientes a los cambios ambientales y al impacto del cambio climático. Esto implica no solo la selección de variedades adecuadas, sino también la implementación de prácticas de manejo que puedan ajustarse rápidamente a las condiciones cambiantes.
- **Importancia del conocimiento científico y local:** La integración de conocimientos científicos con las prácticas agrícolas locales es crucial para desarrollar estrategias efectivas de MIP. Se destacó la importancia de la educación continua y la capacitación de los productores para asegurar que las prácticas recomendadas sean adoptadas y adaptadas a las condiciones locales.
- **Enfoque integral en el MIP:** El éxito del MIP depende de un enfoque integral que considere todos los componentes del patosistema. La interacción entre el patógeno, el hospedero, el ambiente y las acciones del productor debe ser entendida y manejada de manera conjunta para maximizar la efectividad del control de plagas y asegurar la sostenibilidad del cultivo de cacao.

Preguntas de evaluación

1	<p>El Manejo Integrado de Plagas consiste en la cuidadosa integración de las técnicas de control disponibles para favorecer el desarrollo de las poblaciones de plagas.</p> <p><input type="checkbox"/> Verdadero</p> <p><input type="checkbox"/> Falso</p>
2	<p>Los 4 componentes del tetraedro de la enfermedad son: Patógeno, Hospedero, Ambiente y Acciones de la persona productora.</p> <p><input type="checkbox"/> Verdadero</p> <p><input type="checkbox"/> Falso</p>
3	<p>Los principales efectos del Cambio Climático sobre los patosistemas son: el incremento de la temperatura y el cambio en el patrón de lluvias.</p> <p><input type="checkbox"/> Verdadero</p> <p><input type="checkbox"/> Falso</p>
4	<p>El suelo y el porcentaje de cobertura de los árboles de sombra no son considerados parte del ambiente.</p> <p><input type="checkbox"/> Verdadero</p> <p><input type="checkbox"/> Falso</p>
5	<p>Las prácticas del control de las plagas y enfermedades se deben implementar en todas las fincas de todas las regiones productoras en el mismo momento.</p> <p><input type="checkbox"/> Verdadero</p> <p><input type="checkbox"/> Falso</p>

Literatura citada y relacionada con el tema

- Zadoks, J. C., & Schein, R. D. (1979). *Epidemiology and plant disease management*. Oxford University Press Inc. <https://www.cabidigitallibrary.org/doi/full/10.5555/19801361394>
- Philips Mora, W., & Cerda Bustillo, R. (2011). *Catálogo: Enfermedades del cacao en Centroamérica*. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). <http://192.168.2.14/xmlui/handle/123456789/1453>
- López, M., Ramírez, O., & Dubón, A. (2021). *Catálogo de cultivares de cacao (Theobroma cacao) evaluados y seleccionados por la FHIA*.
- Phillips Mora, W., Arciniegas Leal, A., Mata Quirós, A., & Motamayor Arias, J. C. (2013). *Catálogo de clones de cacao seleccionados por el CATIE para siembras comerciales*. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). <https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/7280>
- Dos Santos, F., Ghiringhello, D. (2021). *Agricultura sintrópica*. Editora Reviver
- Maia-Silva, C., Hrnčir, M., Giannini, T. C., Toledo-Hernández, M., & Imperatriz-Fonseca, V. L. (2024). Small Amazonian stingless bees: An opportunity for targeted cocoa pollination. *Frontiers in Bee Science*, 2. <https://doi.org/10.3389/frbee.2024.1357811>
- Ríos-Moyano, D. K., Rodríguez-Cruz, F. A., Salazar-Peña, J. A., Ramírez-Godoy, A., Ríos-Moyano, D. K., Rodríguez-Cruz, F. A., Salazar-Peña, J. A., & Ramírez-Godoy, A. (2023). Factores asociados a la polinización del cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.). *Agronomía Mesoamericana*, 34(3). <https://doi.org/10.15517/am.2023.52280>

Arreglos de siembra y polinización para maximizar productividad

Adriana Arciniegas Leal, M.Sc
aleal@catie.ac.cr

Síntesis de la sesión

La temática abordada presenta y discute los aspectos fundamentales relacionados con la compatibilidad genética y la polinización en las plantaciones de cacao, destacando su importancia para maximizar la productividad. Se inicia con una introducción a los conceptos básicos de compatibilidad en cacao, subrayando que la mayoría de las plantas de cacao son auto-incompatibles y, por lo tanto, dependen en gran medida de la polinización cruzada para la producción de frutos. Este fenómeno de incompatibilidad se debe tanto a factores genéticos como a mecanismos bioquímicos que impiden la fusión de los gametos, resultando en una falta de formación de frutos.

Para enfrentar estos desafíos, se detallan diversos factores que influyen en la polinización, tanto intrínsecos como extrínsecos. Entre los factores intrínsecos, se mencionan la morfología de las flores, la viabilidad limitada del polen (48 horas) y la necesidad de un mínimo de 35 granos de polen para fecundar una flor. Además, se discuten factores como la asincronía floral y el estado nutricional y de manejo de los árboles, los cuales son críticos para la polinización exitosa y el desarrollo de frutos. Por otro lado, los factores extrínsecos incluyen la disponibilidad y la diversidad de polinizadores naturales, los cuales pueden verse afectados por las condiciones climáticas, la gestión de la sombra y el uso de agroquímicos.

La metodología para la polinización dirigida es otro tema clave de la presentación. Se describe un protocolo estándar empleado en el CATIE desde 2003, que incluye la selección y preparación cuidadosa de los árboles y las flores para la polinización. Este proceso implica la apertura de copas, la remoción de chupones, y la limpieza de los árboles para mejorar la penetración de luz y la floración. La preparación de las flores incluye la selección de botones florales adecuados y su protección hasta el momento de la polinización, asegurando que no sean contaminados por polen no deseado. Este enfoque meticuloso permite un control más preciso sobre el proceso de polinización, mejorando las tasas de prendimiento de frutos.

También se introduce el uso y construcción de matrices de compatibilidad como una herramienta esencial para la gestión de la polinización en cacaotales. Estas matrices permiten evaluar la compatibilidad entre diferentes clones, basándose en el porcentaje de flores retenidas y fecundadas después de la polinización manual. Los datos recolectados ayudan a los productores a diseñar arreglos de siembra que maximicen el flujo de polen entre plantas compatibles, incrementando así la productividad y la eficiencia de las plantaciones. Las matrices indican claramente cuáles combinaciones de clones son más efectivas para la producción, ayudando a evitar combinaciones de baja compatibilidad que podrían reducir el rendimiento.

La sesión concluye con la validación de diferentes arreglos policlonales y su impacto en la productividad y calidad del cacao. Se discuten estudios de caso que muestran cómo los arreglos específicos de clones pueden influir significativamente en la productividad, la resistencia a enfermedades como la monilia y la calidad del cacao producido. Estos resultados destacan la importancia de una planificación estratégica en el diseño de plantaciones para asegurar tanto la sostenibilidad como la rentabilidad en el cultivo de cacao.

Objetivo de la sesión

- El objetivo de esta sesión fue analizar los arreglos de siembra y la polinización para maximizar la productividad en cacaotales. La presentación se centró en la importancia de entender los mecanismos de compatibilidad entre diferentes clones de cacao para mejorar la eficiencia y el rendimiento de las plantaciones. Se discutieron estrategias de manejo que incluyen la polinización cruzada, la disposición de plantas compatibles, y el manejo adecuado del ambiente para fomentar una mayor producción de cacao. Además, se abordaron factores limitantes de la producción, tales como la compatibilidad genética, las condiciones ambientales, y las prácticas de manejo.

Puntos clave abordados en la sesión

Importancia de la compatibilidad sexual en el cacao

- La polinización en el cacao es mayoritariamente cruzada, con aproximadamente un 90% de las flores que dependen de la transferencia de polen entre individuos diferentes. Este proceso es principalmente entomófilo, lo que significa que depende de insectos polinizadores como el género *Forcipomyia*, un grupo de pequeños insectos conocidos por ser polinizadores efectivos.
- En términos de compatibilidad sexual, el cacao puede ser auto-incompatible o auto-compatible a nivel de la misma planta o entre plantas cercanas, lo que tiene implicaciones directas en la producción de frutos. La compatibilidad sexual es crucial para la productividad en plantaciones de cacao debido a que la mayoría de las plantas de cacao son auto-incompatibles y dependen de la polinización cruzada para la producción de frutos (Figura 41).

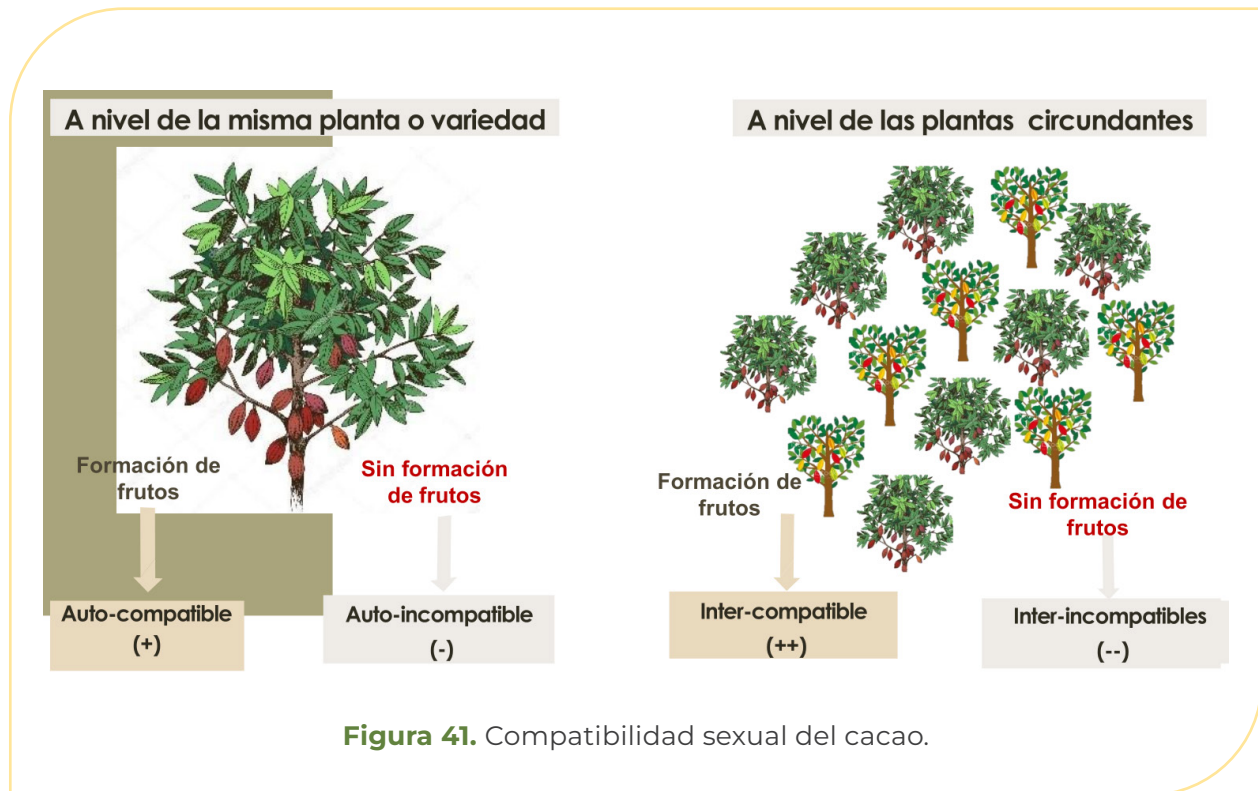


Figura 41. Compatibilidad sexual del cacao.

- Se explicó que solo alrededor del 15% de los árboles son capaces de autofecundarse y desarrollar frutos, mientras que el 85% depende de la polinización cruzada, lo que subraya la importancia de disponer correctamente las plantas para maximizar la compatibilidad y el rendimiento.
- Se definió la compatibilidad sexual en dos niveles: auto-compatibilidad (dentro de la misma planta o clon) e inter-compatibilidad (entre plantas circundantes). La auto-compatibilidad es rara, y la mayoría de las plantaciones dependen de la polinización entre diferentes plantas o clones. Además, se discutieron los mecanismos genéticos y bioquímicos que impiden o permiten la fusión de los gametos, afectando así la formación de frutos.

Factores que influyen en la polinización y formación de frutos

- Se identificaron varios factores bióticos y abióticos que influyen en la polinización:
 - 1. Factores intrínsecos de la planta:** La morfología de las flores, la viabilidad del polen (48 horas), la asincronía floral, y la cantidad mínima de polen necesario para fecundar una flor (más de 35 granos de polen) son determinantes en el éxito de la polinización. Además, la condición de la planta y su manejo adecuado, como la fertilización y el control de plagas, son esenciales para mantener la salud de la planta y su capacidad de producción.
 - 2. Factores extrínsecos a la planta:** La disponibilidad de polinizadores naturales, las condiciones climáticas, y la gestión de la sombra influyen significativamente en la polinización del cacao. Las prácticas agrícolas que conservan o incrementan las poblaciones de polinizadores, como la conservación de bromelias y orquídeas en los cacaotales, son fundamentales. También se discutió cómo las prácticas agrícolas, como el uso de pesticidas, pueden reducir la diversidad de polinizadores y afectar negativamente la polinización.

Prácticas de manejo que influyen en la productividad

- Las prácticas culturales, como la poda y la fertilización, desempeñan un papel fundamental en el éxito de la polinización y, por ende, en la productividad. Se explicó cómo una poda adecuada permite una mejor circulación del aire y mayor penetración de la luz solar en la plantación, lo que favorece tanto el crecimiento de las flores como la actividad de los polinizadores.
- Un dosel de sombra mal manejado puede limitar la luz solar disponible y aumentar los niveles de humedad, lo que a su vez favorece el desarrollo de enfermedades y disminuye la actividad de los polinizadores. Además, se destacó la importancia de la fertilización para asegurar la salud de las plantas y mejorar la producción de flores viables. Los árboles de cacao requieren un suministro adecuado de nutrientes para formar flores fuertes y viables. La falta de nutrientes esenciales, como nitrógeno y potasio, puede resultar en un menor prendimiento de frutos y en una caída temprana de los frutos ya formados.

- Se sugirió que los productores evalúen la compatibilidad entre diferentes clones y diseñen sus plantaciones para optimizar el flujo de polen. Adicionalmente, se describió una metodología de polinización manual que incluye la preparación de las flores para asegurar una alta tasa de fecundación. Este proceso requiere la identificación de los árboles donadores de polen y la preparación cuidadosa de las flores femeninas y masculinas (Figura 42).
- Además, se explicó cómo evaluar la compatibilidad mediante el seguimiento de la retención de flores fecundadas a los 5, 15 y 30 días después de la polinización a través de una matriz. Si el prendimiento es alto (superior al 30%), los clones se consideran inter-compatibles y se pueden plantar juntos. Si el prendimiento es bajo o nulo, se consideran incompatibles y deben evitarse en arreglos cercanos (Figura 43).

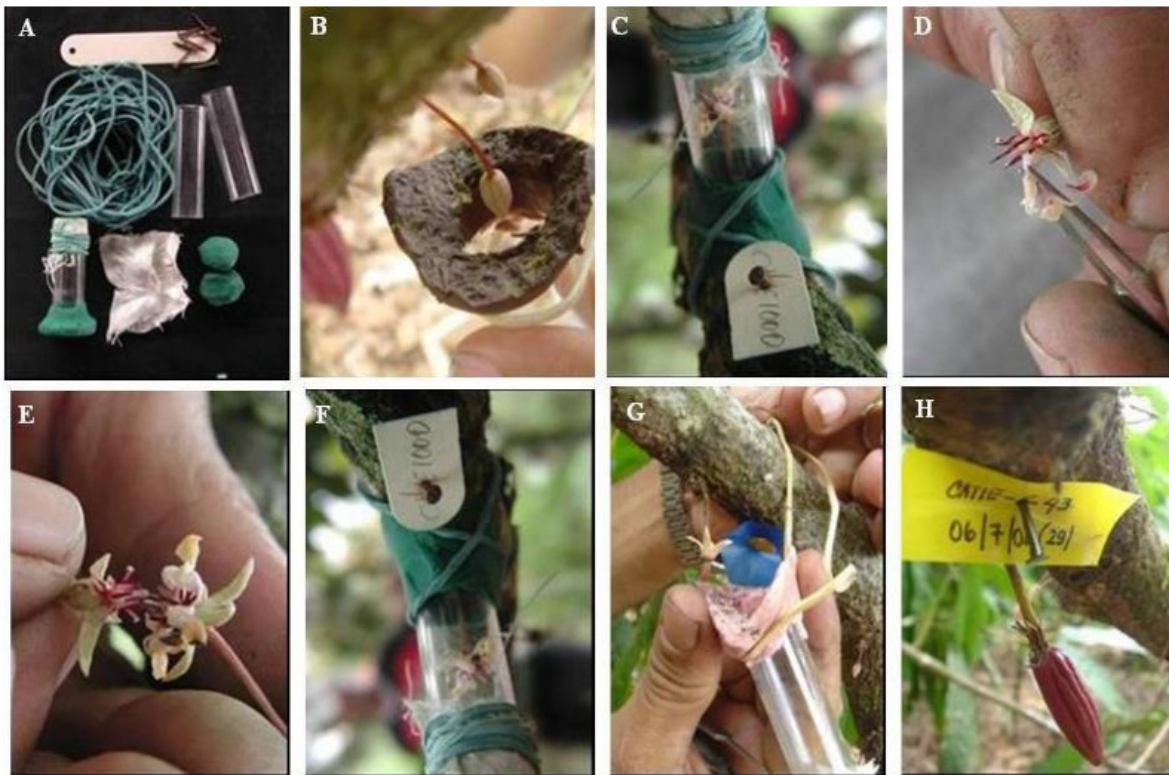


Figura 42. Metodología para la polinización dirigida.

El cruce	Total de Pol hechas	Total prend. día 5	% Retención día 5	Total prend. día 15	% Retención día 15	Total prend día 30	% Retención día 30
Coca-3370 x PA-169	82	44	53,7	27	32,9	22	26,8
Cálculos	100%	X: Total ¿%?	X= (44 x100)/82	X: Total ¿%?	X= (27 x100)/82	X: Total ¿%?	X= (22 x100)/82
Reacción			++		++		--

^{1/} (+) = Auto-compatible; (-) = Auto-incompatible; (++) = Inter-compatibile (≥ 30%); (--) = Inter-incompatibles (< 30%)

Figura 43. Variables y cálculos evaluadas en la matriz para la evaluación de la compatibilidad genética del cacao (Pol: Polinizadas; Prend: Prendimiento)

Construcción de matrices de compatibilidad

- Se detalló el proceso para construir matrices de compatibilidad que permitan identificar qué combinaciones de clones resultan en una mayor tasa de prendimiento de frutos. Este enfoque permite a los productores tomar decisiones informadas sobre qué variedades plantar juntas para maximizar la producción. Las matrices incluyen datos sobre la retención de flores fecundadas y el flujo de polen entre diferentes combinaciones de clones.

Validación de arreglos policlonales y productividad

- Se discutieron estudios de caso y ejemplos prácticos sobre cómo diferentes arreglos de clones pueden influir en la productividad y calidad del cacao. Se presentaron datos que muestran cómo ciertos clones tienen un mayor rendimiento cuando se plantan juntos, debido a su compatibilidad genética y a factores ambientales favorables. Estos ejemplos ayudan a los productores a entender la importancia de diseñar sus plantaciones de manera estratégica.

Manejo de polinizadores y mejora de condiciones ambientales:

- Otro aspecto clave abordado en la sesión fue la importancia de manejar adecuadamente las poblaciones de insectos polinizadores, en particular las forcipomias, para asegurar una polinización efectiva. Estos insectos son altamente sensibles a las condiciones del hábitat y a las prácticas de manejo dentro de la plantación.
- Se recomendó crear un entorno propicio para los polinizadores, por ejemplo, conservando la hojarasca y plantando vegetación que les sirva de refugio. Además, se mencionó la necesidad de limitar el uso de pesticidas, ya que estos pueden reducir las poblaciones de polinizadores, afectando negativamente la formación de frutos.
- Se destacó también que el clima y la gestión de las condiciones ambientales son determinantes en la actividad de los polinizadores. Las lluvias fuertes y las sequías prolongadas pueden reducir significativamente la presencia y actividad de los insectos polinizadores, lo que disminuye el éxito de la polinización. Por ello, el productor debe estar atento a las variaciones climáticas y ajustar las prácticas de manejo en consecuencia.

Conclusiones y reflexiones finales

El conocimiento profundo de la compatibilidad entre diferentes clones de cacao es esencial para maximizar la productividad y la eficiencia de las plantaciones.

Los productores deben considerar tanto la genética como las condiciones ambientales al diseñar sus plantaciones para asegurar un flujo de polen adecuado y una alta tasa de prendimiento de frutos.

Un enfoque integrado que combine un manejo adecuado del cultivo, la selección de clones compatibles y el uso de prácticas agrícolas que fomenten la presencia de polinizadores es fundamental para el éxito a largo plazo de los cacaotales. Este enfoque debe ser adaptativo, considerando los cambios en las condiciones climáticas y otras variables externas que puedan afectar la productividad.

La polinización dirigida y los arreglos policlonales son herramientas efectivas para incrementar la producción de cacao. La implementación de estas estrategias requiere de un conocimiento técnico detallado y de un monitoreo continuo para evaluar su efectividad y hacer ajustes según sea necesario.

Preguntas de evaluación

1	Uno de los mecanismos más comunes de la polinización del cacao es a través del agua (polinización hidrofilia). <input type="checkbox"/> Verdadero <input type="checkbox"/> Falso
2	Las condiciones ambientales, como la temperatura, brillo solar y humedad relativa pueden afectar la eficacia de la polinización en el cacao. <input type="checkbox"/> Verdadero <input type="checkbox"/> Falso
3	Se podría afirmar que las flores del cacao solo son receptivas a una hora determinada y en una única vez al día para facilitar la polinización. <input type="checkbox"/> Verdadero <input type="checkbox"/> Falso
4	Los cultivos de cacao bajo un sistema de monocultivo tienen una mejor tasa de polinización que los cultivos de cacao bajo un arreglo de sistemas agroforestales. <input type="checkbox"/> Verdadero <input type="checkbox"/> Falso
5	La polinización contralada se realiza con el fin de obtener: producción de semilla híbrida (comercialización), para conocer la compatibilidad e incompatibilidad de los materiales y elaborar diseños de siembra y mejoramiento genético para aumentar resistencia a enfermedades, producción y calidad. <input type="checkbox"/> Verdadero <input type="checkbox"/> Falso

Literatura citada y relacionada con el tema

- Da Silva, M. R., Clément, D., Gramacho, K. P., Monteiro, W. R., Argout, X., Lanaud, C., & Lopes, U. (2016). Genome-wide association mapping of sexual incompatibility genes in cacao (*Theobroma cacao* L.). *Tree Genetics & Genomes*, 12(3), 62. <https://doi.org/10.1007/s11295-016-1012-0>
- Dubon, A., & Sanchez, J. (2016). Manual de producción de cacao. FHIA.
- Lanaud, C., Fouet, O., Legavre, T., Lopes, U., Sounigo, O., Eyango, M. C., Mermaz, B., Da Silva, M. R., Llor Solórzano, R. G., Argout, X., Gyapay, G., Ebaiarrey, H. E., Colonges, K., Sanier, C., Rivallan, R., Mastin, G., Cryer, N., Boccara, M., Verdeil, J.-L., ... Clément, D. (2017). Deciphering the *Theobroma cacao* self-incompatibility system: From genomics to diagnostic markers for self-compatibility. *Journal of Experimental Botany*, 68(17), 4775-4790. <https://doi.org/10.1093/jxb/erx293>
- Maia-Silva, C., Hrcir, M., Giannini, T. C., Toledo-Hernández, M., & Imperatriz-Fonseca, V. L. (2024). Small Amazonian stingless bees: An opportunity for targeted cocoa pollination. *Frontiers in Bee Science*, 2. <https://doi.org/10.3389/frbee.2024.1357811>
- Phillips Mora, W., Arciniegas Leal, A., Mata Quirós, A., & Motamayor Arias, J. C. (2013). *Catálogo de clones de cacao seleccionados por el CATIE para siembras comerciales*. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). <https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/7280>
- Ríos-Moyano, D. K., Rodríguez-Cruz, F. A., Salazar-Peña, J. A., Ramírez-Godoy, A., Ríos-Moyano, D. K., Rodríguez-Cruz, F. A., Salazar-Peña, J. A., & Ramírez-Godoy, A. (2023). Factores asociados a la polinización del cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.). *Agronomía Mesoamericana*, 34(3). <https://doi.org/10.15517/am.2023.52280>
- Toledo-Hernández, M., Tschardtke, T., Tjoa, A., Anshary, A., Cyio, B., & Wanger, T. C. (2020). Hand pollination, not pesticides or fertilizers, increases cocoa yields and farmer income. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 304, 107160. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2020.107160>

Rasgos funcionales para el diseño de doseles de sombra en café y cacao

Cassio Pinheiro Edelstein, MSc.

cassio.Eldestein@gmail.com

Síntesis de la sesión

La agricultura enfrenta múltiples crisis, como la pérdida de fertilidad del suelo y el cambio climático, lo que subraya la necesidad de integrar servicios ecosistémicos en los sistemas de producción. La selección de especies para estos sistemas debe considerar características como la composición, idoneidad climática y fenología para maximizar los beneficios.

El enfoque en rasgos funcionales permite identificar características específicas de las plantas que impactan su adaptabilidad y el ecosistema en general. Estos rasgos, como el área foliar y la altura, influyen directamente procesos ecológicos cruciales. La ecología funcional establece un marco para vincular estos rasgos con los servicios ecosistémicos, promoviendo un diseño más efectivo de sistemas agroforestales.

El análisis de rasgos funcionales revela cómo las plantas interactúan con su entorno, afectando la descomposición de la hojarasca, la regulación del microclima y la resistencia a enfermedades. Se presentan metodologías para medir estos rasgos, subrayando su relevancia en la provisión de servicios ecosistémicos. La variación intra e inter-específica de estos rasgos es fundamental para comprender la resiliencia y eficiencia de las comunidades vegetales.

Los estudios de caso ilustran cómo los rasgos funcionales de los árboles de sombra afectan el microclima y la gestión de patógenos en sistemas de café. Resultados muestran que características como la apertura del dosel y el ángulo de las hojas pueden reducir la incidencia de enfermedades. Además, se discute cómo la diversidad funcional en sistemas de cacao está relacionada con la provisión de servicios como la fertilidad del suelo y el almacenamiento de carbono.

Para concluir, la sesión destaca la importancia de cuantificar la diversidad funcional mediante índices específicos que evalúan la complementariedad y redundancia de los rasgos. Esto permite optimizar los sistemas agroforestales para obtener múltiples beneficios ecosistémicos. En resumen, integrar rasgos funcionales en el diseño de doseles de sombra es vital para mejorar la sostenibilidad y productividad de los sistemas agroforestales de café y cacao.

Objetivo de la sesión

- La sesión se centró en la importancia de los rasgos funcionales en el diseño de doseles de sombra para sistemas agroforestales de café y cacao. Se discutió cómo los rasgos funcionales -características morfológicas, fisiológicas, bioquímicas o fenológicas de las plantas- afectan tanto la adaptabilidad de las especies al medio ambiente como su capacidad para proporcionar servicios ecosistémicos esenciales, como el secuestro de carbono, la regulación del microclima y la mejora de la fertilidad del suelo.

Puntos clave abordados en la sesión

Concepto de diversidad y rasgos funcionales

- La diversidad funcional se refiere al rango y valor de los rasgos funcionales dentro de una comunidad o ecosistema. En los sistemas agroforestales, los rasgos funcionales son características que pueden medirse a nivel de planta individual y que afectan tanto su capacidad de adaptarse al entorno como su impacto en el ecosistema. Estos rasgos pueden ser morfológicos, fisiológicos, bioquímicos o fenológicos, y tienen un papel determinante en la provisión de servicios ecosistémicos.

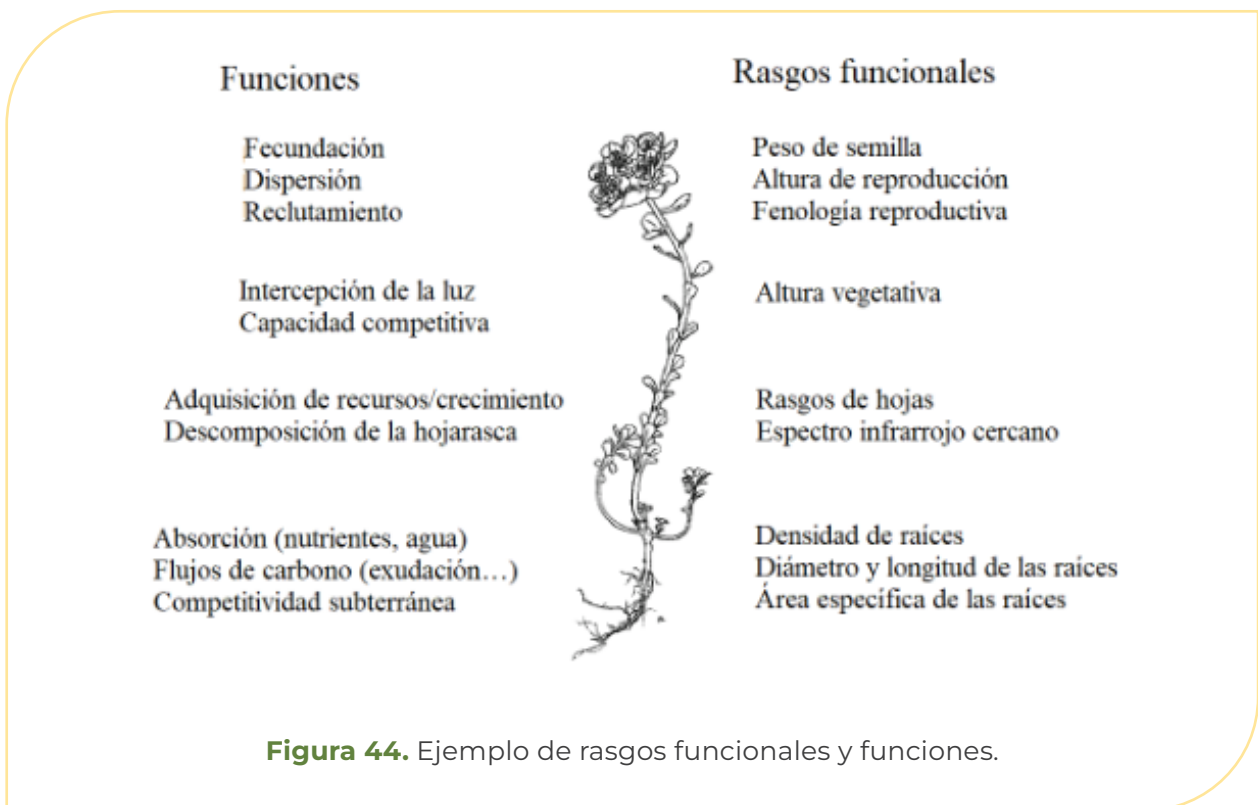


Figura 44. Ejemplo de rasgos funcionales y funciones.

- Un ejemplo relevante es el área foliar específica, que describe la cantidad de área foliar que una planta puede generar por unidad de biomasa. Este rasgo es crucial para definir la estrategia ecológica de la planta, ya que una mayor área foliar específica generalmente se asocia con una mayor capacidad fotosintética y una vida corta, lo que facilita el rápido reciclaje de nutrientes y una alta productividad primaria. Los rasgos funcionales permiten comparar diferentes especies y entender mejor su contribución a la funcionalidad del sistema agroforestal.
- Se destacó que los sistemas agroforestales, como los de café y cacao, son más resilientes y sostenibles cuando se diseñan teniendo en cuenta la diversidad funcional. Esto se debe a que una mayor diversidad de rasgos permite una mayor complementariedad y redundancia funcional, lo que mejora la provisión de servicios ecosistémicos. Por ejemplo, diferentes especies de árboles de sombra con variados rasgos funcionales pueden regular mejor el microclima y mitigar enfermedades.
- Se proporcionó ejemplos específicos de rasgos funcionales y sus roles en los ecosistemas. Por ejemplo, el área foliar específica está relacionada con la capacidad fotosintética de una planta y su tasa de crecimiento, mientras que la densidad de madera está relacionada con la resistencia a la sequía y la longevidad. Se discutió cómo estos rasgos afectan procesos como la descomposición de la hojarasca, la fertilidad del suelo, y el almacenamiento de carbono.

Servicios ecosistémicos en sistemas agroforestales

- Los sistemas agroforestales son una alternativa sostenible a los monocultivos porque permiten la generación simultánea de servicios ecosistémicos esenciales. Entre los servicios mencionados en la presentación se encuentran la provisión de sombra, el secuestro de carbono, el aumento de la fertilidad del suelo, la regulación del microclima, y la mitigación de enfermedades.
- Los árboles en los SAF juegan un papel crucial en la generación de estos servicios. Por ejemplo, los árboles asociados al cacao y café incrementan la biodiversidad del sistema, lo que ayuda a controlar plagas y enfermedades, mejorar la estructura del suelo y aumentar la resiliencia frente a cambios climáticos extremos.

- La sesión destacó que la diversidad funcional en un sistema agroforestal no solo depende de la cantidad de especies presentes, sino también de los rasgos que esas especies aportan al sistema. Los SAF diseñados adecuadamente pueden generar una capacidad de almacenamiento de carbono comparable a la de los bosques naturales, mientras que simultáneamente mejoran la producción agrícola y mantienen la salud del ecosistema.

Orgáno	Rasgo	Plasticidad	Función asociada	Servicio asociado	Mecanismos
Hojas	N foliar	Alta	Descomposición de hojarasca (+)	Fertilidad del suelo	Alta tasa de descomposición de la hojarasca permite un rápido reciclaje de nutrientes
Hojas	C:N foliar	Alta	Descomposición de hojarasca (-)	Fertilidad del suelo	Baja tasa de descomposición de la hojarasca ralentiza el reciclaje de nutrientes, pero incrementa el C en el suelo.
Hojas	Grosor de la hoja	Alta	Protección contra el viento (+)	Moderación del microclima	Resistencia al viento modera el flujo de aire
Hojas	Área foliar	Alta	Captura de partículas (-)	Moderación del microclima	Adherencia de partículas y acumulación de agua en superficies de hojas cambia las dinámicas de la lluvia y afecta plagas y enfermedades
Hojas	SLA	Alta	Descomposición de hojarasca (+)	Moderación del microclima	Alta tasa de descomposición de la hojarasca permite un rápido reciclaje de nutrientes
Hojas	Textura de la hoja	Baja	Captura de partículas (+)	Regulación de plagas y enfermedades	Adherencia de partículas a la superficie de la hoja influye en plagas y enfermedades
Hojas	Lignina y fenoles en la hojarasca	Baja	Descomposición de hojarasca (-)	Ciclo del agua en el suelo	Baja tasa de descomposición de la hojarasca favorece la presencia de un mantillo permanente en el suelo
Copa	Densidad de copa	-	Intercepción de luz (-) Protección contra el viento (+)	Moderación del microclima	Menor transmisión de luz y flujo de aire modulan la humedad e influyen plagas y enfermedades
Copa	Apertura de copa	-	Intercepción de luz (+) Entrada de lluvia (+) Energía de la lluvia (+)	Moderación del microclima	Mayor transmisión de luz y flujo de aire modulan la humedad e influyen plagas y enfermedades
Copa	Altura/Área de copa	-	Intercepción de luz (-) Protección contra el viento (+)	Moderación del microclima	Mayor transmisión de luz y flujo de aire modulan la humedad e influyen plagas y enfermedades
Copa	Producción de fruto	-	-	Provisión	Fijación de C atmosférico dentro de la biomasa arbórea por varias décadas
Tronco	DBH/Área basal y altura	Alta	Producción de biomasa aérea (+)	Almacenamiento de carbono	Fijación de C atmosférico dentro de la biomasa arbórea por varias décadas
Tronco	Densidad de madera	Baja	Resistencia a la sequía (+)	Supervivencia	Estrategia fisiológica

Figura 45. Funciones y servicios clave relacionados a rasgos funcionales en sistemas agroforestales (Fuente: Isaac et al., 2024).

Metodologías para medir rasgos funcionales

- Se revisaron las metodologías estándar para medir rasgos funcionales, enfatizando la necesidad de mediciones precisas para comprender el papel de diferentes especies en los servicios ecosistémicos. Las mediciones de rasgos como el contenido de nitrógeno en las hojas o la densidad de la madera ayudan a predecir cómo una especie contribuirá a funciones específicas del ecosistema.

Aplicación de los rasgos funcionales en el diseño de doseles

- La sesión también exploró cómo aplicar el conocimiento de los rasgos funcionales en la práctica del diseño de doseles de sombra. Se sugirió que la selección de especies para los doseles debe basarse no solo en su identidad taxonómica, sino también en sus rasgos funcionales, para maximizar los beneficios ecosistémicos como el control de plagas, la regulación del microclima y el mejoramiento del suelo. Entre los rasgos más relevantes para los sistemas agroforestales se encuentran:
 1. **Altura del dosel:** Un dosel más bajo puede mejorar la circulación de aire y reducir la humedad, lo que puede ser beneficioso para controlar enfermedades como la roya del café.
 2. **Área foliar específica:** Las especies con un área foliar específica más grande suelen tener una mayor capacidad fotosintética y, por lo tanto, contribuyen a una mayor productividad primaria.
 3. **Densidad de madera:** Las especies con mayor densidad de madera suelen tener un crecimiento más lento, pero almacenan más carbono, lo que es relevante para la captura de carbono a largo plazo.

Estudios de caso y resultados prácticos

- Tres estudios de caso fueron presentados para ilustrar cómo la diversidad y los rasgos funcionales pueden influir en los servicios ecosistémicos en sistemas agroforestales de cacao y café:
 1. **Estudio sobre la percepción de los agricultores:** Un estudio realizado en Costa Rica investigó cómo los agricultores perciben y utilizan los rasgos funcionales en la gestión de sus agroecosistemas. Se observó que los productores con mayor interacción física con las plantas, como al tocar las hojas, eran más precisos al interpretar los atributos funcionales de las plantas. Sin embargo, también se encontró una discrepancia entre la percepción de los agricultores y las evidencias científicas, lo que sugiere la necesidad de capacitaciones técnicas para mejorar la comprensión sobre la relación entre los rasgos funcionales y los servicios ecosistémicos.

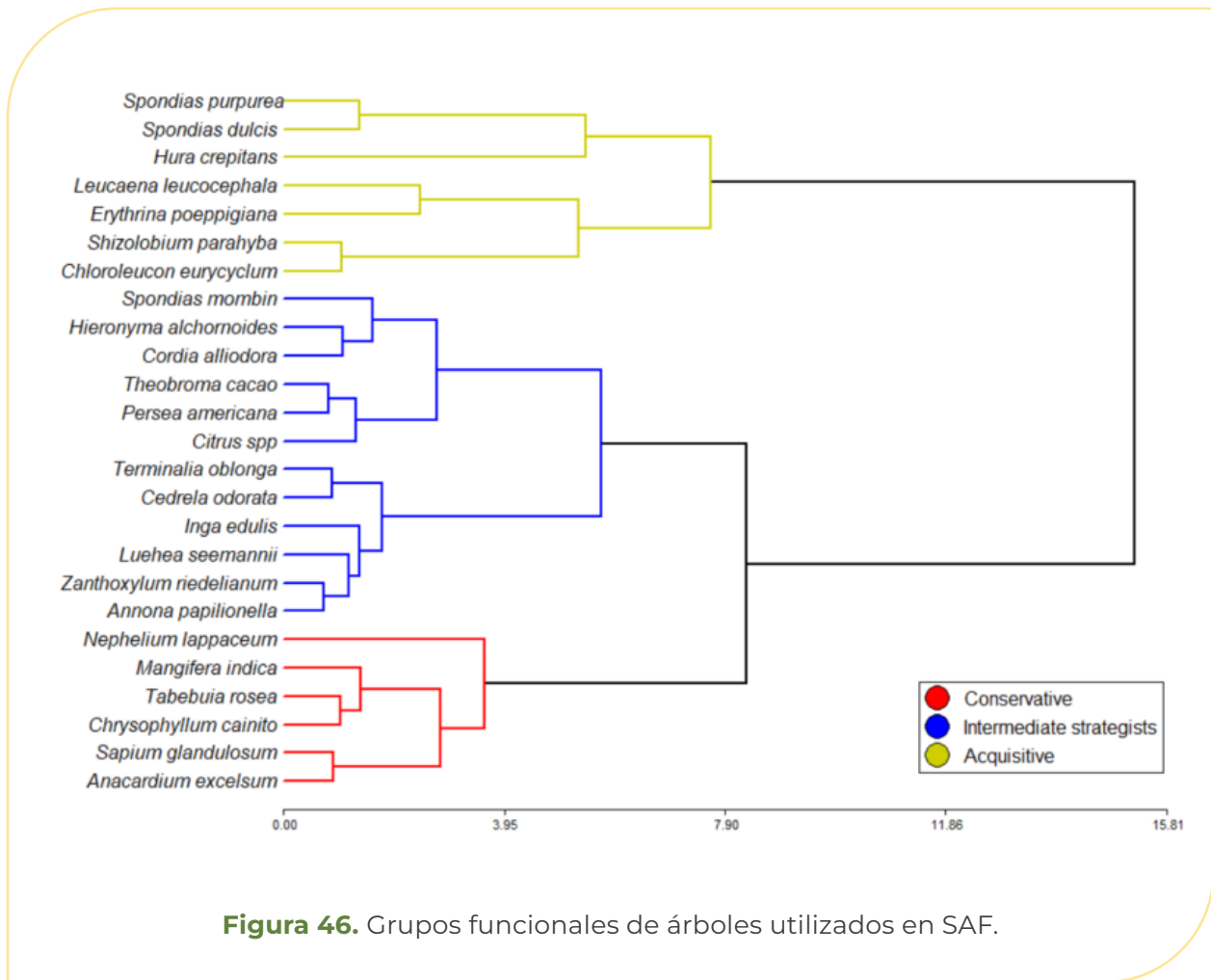
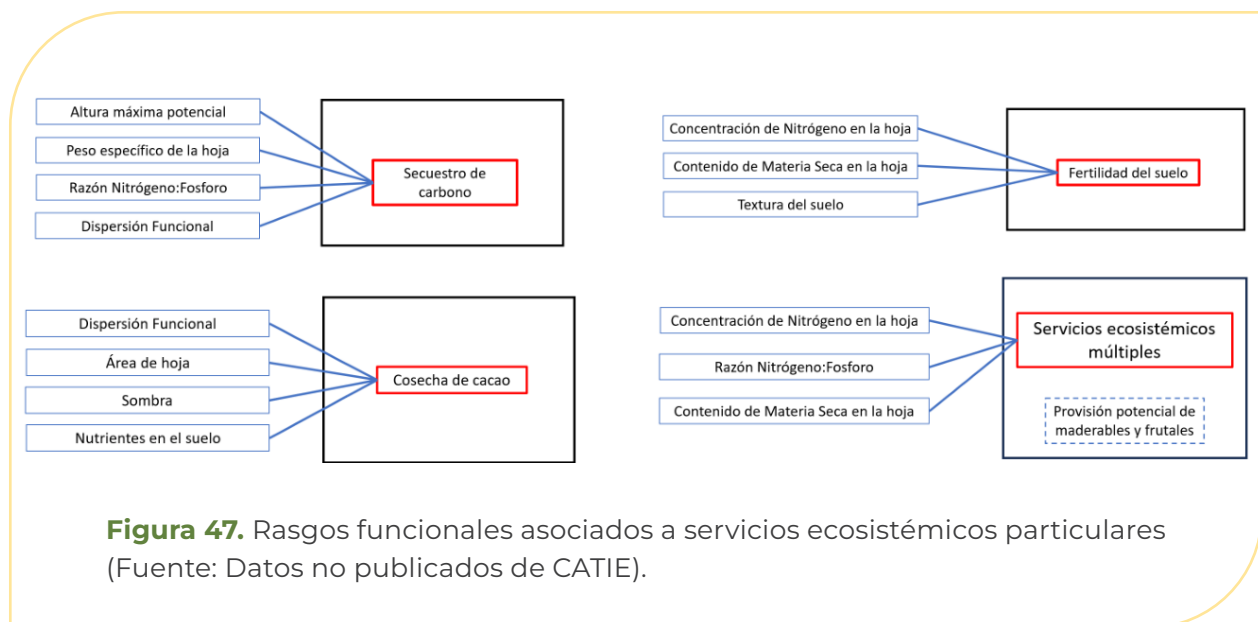


Figura 46. Grupos funcionales de árboles utilizados en SAF.

2. Estudio sobre rasgos funcionales y microclima: Otro estudio investigó la relación entre los rasgos funcionales de los árboles de sombra y las condiciones microclimáticas en sistemas agroforestales de café. Se encontró que los árboles con hojas más pequeñas y copas más abiertas tienden a reducir la incidencia de enfermedades como la roya del café al mejorar el flujo de aire y la exposición a la luz. En particular, se destacó el papel de la *Erythrina poeppigiana*, un árbol que tiene rasgos arquitectónicos que ayudan a mitigar la presencia de la roya al reducir la humedad del entorno.

- 3. Estudio sobre diversidad funcional en sistemas de cacao:** Un estudio reciente evaluó la relación entre la diversidad funcional y tres servicios ecosistémicos clave (almacenamiento de carbono, fertilidad del suelo y provisión) en sistemas agroforestales de cacao. Se encontró que los sistemas dominados por especies con rasgos adquisitivos, como una alta área foliar específica y un bajo contenido de materia seca en las hojas, tienden a proporcionar más servicios ecosistémicos múltiples, especialmente en sistemas jóvenes.



Conclusiones y reflexiones finales

La sesión concluyó que un enfoque basado en rasgos funcionales es crucial para el manejo efectivo de sistemas agroforestales de café y cacao. La integración de la ecología funcional en el diseño de los doseles puede aumentar la provisión de servicios ecosistémicos, mejorar la resiliencia de los cultivos ante el cambio climático, y promover prácticas agrícolas más sostenibles. Además, se enfatizó la necesidad de más investigación y datos para entender completamente cómo los diferentes rasgos funcionales interactúan en diversos contextos agroforestales.

Preguntas de evaluación

1	<p>La diversidad funcional en un sistema agrícola se refiere únicamente a la variación genética de los cultivos.</p> <p><input type="checkbox"/> Verdadero</p> <p><input type="checkbox"/> Falso</p>
2	<p>En los sistemas agroforestales, los únicos rasgos funcionales importantes son los relacionados con las tasas de crecimiento de las plantas y el rendimiento.</p> <p><input type="checkbox"/> Verdadero</p> <p><input type="checkbox"/> Falso</p>
3	<p>En un estudio se comparó la diversidad funcional interespecífica de dos parcelas en sistemas agroforestales de cacao. La Media Ponderada de la Comunidad (MPC) de la "Parcela 1" para el rasgo de Contenido de Nitrógeno en la Hoja (CNH) es de 28 mg g⁻¹ y la MPC del rasgo de Densidad de Madera (DM) es de 0.42 mg mm⁻³. En la "Parcela 2," la MPC de CNH es de 19 mg g⁻¹ y la MPC de DM es de 0.71 mg mm⁻³. El sistema agroforestal de la parcela 1 está dominado por especies adquisitivas, con un crecimiento más lento, mientras que la parcela 2 está dominada por especies conservativas, lo que resulta en un crecimiento más rápido del sistema.</p> <p><input type="checkbox"/> Verdadero</p> <p><input type="checkbox"/> Falso</p>
4	<p>Un sistema agroforestal compuesto por especies con valores de rasgos funcionales diferentes entre sí tiene alta diversidad funcional y es capaz de explorar distintos nichos ecológicos, o que maximiza el uso de recursos y la resiliencia del sistema.</p> <p><input type="checkbox"/> Verdadero</p> <p><input type="checkbox"/> Falso</p>
5	<p>La diversidad funcional solo beneficia a los ecosistemas naturales y no tiene un impacto significativo en los sistemas agrícolas manejados, como las plantaciones de café y cacao.</p> <p><input type="checkbox"/> Verdadero</p> <p><input type="checkbox"/> Falso</p>

Literatura citada y relacionada con el tema

- Casanoves, F., Pla, L., & Di Rienzo, J. A. (2011). Valoración y análisis de la diversidad funcional y su relación con los servicios ecosistémicos. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). <https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/8190>
- Cerda, R., Deheuvels, O., Calvache, D., Niehaus, L., Saenz, Y., Kent, J., Vilchez, S., Villota, A., Martinez, C., & Somarriba, E. (2014). Contribution of cocoa agroforestry systems to family income and domestic consumption: Looking toward intensification. *Agroforestry Systems*, 88(6), 957-981. <https://doi.org/10.1007/s10457-014-9691-8>
- Funk, J. L., & Wolf, A. A. (2016). Testing the trait-based community framework: Do functional traits predict competitive outcomes? *Ecology*, 97(9), 2206-2211. <https://doi.org/10.1002/ecy.1484>
- Gagliardi, S., Avelino, J., Virginio Filho, E. de M., & Isaac, M. E. (2021). Shade tree traits and microclimate modifications: Implications for pathogen management in biodiverse coffee agroforests. *Biotropica*, 53(5), 1356-1367. <https://doi.org/10.1111/btp.12984>
- Garnier, E., & Navas, M.-L. (2012). A trait-based approach to comparative functional plant ecology: Concepts, methods and applications for agroecology. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 32(2), 365-399. <https://doi.org/10.1007/s13593-011-0036-y>
- Grime, J. P. (1998). Benefits of plant diversity to ecosystems: Immediate, filter and founder effects. *Journal of Ecology*, 86(6), 902-910. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2745.1998.00306.x>
- Isaac, M. E., Cerda, R., Rapidel, B., Martin, A. R., Dickinson, A. K., & Sibelet, N. (2018). Farmer perception and utilization of leaf functional traits in managing agroecosystems. *Journal of Applied Martin, A. R., Rapidel, B., Roupsard, O., Van den Meersche, K., de Melo Virginio Filho, E., Barrios, M., & Isaac, M. E. (2017). Intraspecific trait variation across multiple scales: The leaf economics spectrum in coffee. Functional Ecology*, 31(3), 604-612. <https://doi.org/10.1111/1365-2435.12790>
- Isaac, M. E., Timmer, V. R., & Quashie-Sam, S. J. (2007). Shade tree effects in an 8-year-old cocoa agroforestry system: Biomass and nutrient diagnosis of *Theobroma cacao* by vector analysis. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 78(2), 155-165. <https://doi.org/10.1007/s10705-006-9081-3>
- Lavorel, S., & Garnier, E. (2002). Predicting changes in community composition and ecosystem functioning from plant traits: Revisiting the Holy Grail. *Functional Ecology*, 16(5), 545-556. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2435.2002.00664.x>
- Muchane, M. N., Sileshi, G. W., Gripenberg, S., Jonsson, M., Pumariño, L., & Barrios, E. (2020). Agroforestry boosts soil health in the humid and sub-humid tropics: A meta-analysis. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 295, 106899. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2020.106899>
- Rigal, C., Wagner, S., Nguyen, M. P., Jassogne, L., & Vaast, P. (2022). ShadeTreeAdvice methodology: Guiding tree-species selection using local knowledge. *People and Nature*, 4(5), 1233-1248. <https://doi.org/10.1002/pan3.10374>
- Violle, C., Navas, M.-L., Vile, D., Kazakou, E., Fortunel, C., Hummel, I., & Garnier, E. (2007). Let the concept of trait be functional! *Oikos*, 116(5), 882-892. <https://doi.org/10.1111/j.0030-1299.2007.15559.x>

Plataformas informativas y de planificación para la agroforestería y restauración agroecológica

María José Borda, MSc.
maria.borda@catie.ac.cr

Síntesis de la sesión

La agroforestería se destaca como una estrategia integral que combina la producción agrícola con la conservación ambiental, mejorando la fertilidad del suelo, regulando el agua y contribuyendo al secuestro de carbono. Estos sistemas ofrecen beneficios significativos para la restauración de paisajes, ayudando a mitigar la degradación de tierras y la pérdida de biodiversidad, los cuales representan dos problemas fundamentales enfrentados por los sistemas agroalimentarios.

Para apoyar estas iniciativas, existen diversas herramientas de monitoreo y análisis, como el Observatorio de la UE sobre Deforestación y Degradación Forestal, que proporciona datos sobre la cobertura forestal global y sus cambios. Algunas de estas herramientas como Global Forest Watch, son relevantes al ofrecer datos para el monitoreo de bosques, facilitando la toma de decisiones informadas para la conservación y restauración.

En la sesión se presentan herramientas específicas como Farm Tree Tool, que cuantifica y proyecta sistemas agroforestales desde perspectivas ecológicas, productivas, financieras y sociales. Esta herramienta permite evaluar coberturas de parcela, biodiversidad, balance de agua y otros factores críticos, ayudando a maximizar la eficiencia

y sostenibilidad de los sistemas agroforestales. Además, se aborda la importancia de seleccionar adecuadamente las especies de árboles de sombra mediante herramientas como Shade Tree Advice, y de adaptar la producción agrícola a las condiciones climáticas locales con aCLIMAtar. Estas plataformas ayudan a proyectar la aptitud agroclimática y los riesgos asociados, como el calor y la sequía, a largo plazo.

Se destaca el uso de Cool Farm Tool para evaluar la huella de carbono, agua y biodiversidad en la producción agrícola. Esta herramienta facilita la gestión sostenible mediante la recopilación de datos sobre cultivos y ganado, promoviendo prácticas agrícolas responsables que contribuyan a la mitigación del cambio climático.

En conjunto, estas plataformas y herramientas ofrecen diferentes enfoques y opciones para la planificación y gestión de la agroforestería y la restauración agroecológica, apoyando a productores, técnicos e investigadores en la implementación de prácticas sostenibles y resilientes.

Objetivo de la sesión

- El objetivo central de la sesión fue presentar y explorar diversas plataformas informativas y de planificación que facilitan la implementación de prácticas de agroforestería y restauración agroecológica. La sesión buscó mostrar cómo estas herramientas digitales pueden ser utilizadas para monitorear, evaluar y planificar la restauración de paisajes, con un enfoque particular en su aplicabilidad en sistemas agroforestales en América Latina, especialmente en cultivos de café y cacao.

Puntos clave abordados en la sesión

Contexto de la restauración de paisajes

- La degradación de tierras y la pérdida de biodiversidad son desafíos críticos que afectan a más de 3,200 millones de personas, lo cual representa aproximadamente el 40% de la población mundial. Estos problemas tienen un impacto significativo en las comunidades rurales, agricultores y personas en situación de pobreza, poniendo en riesgo la seguridad alimentaria global.
- Se mencionó la “Iniciativa 20x20”, que busca restaurar 50 millones de ha de tierras degradadas en América Latina y el Caribe para 2030. Esta restauración no solo mejorará la biodiversidad y la calidad del suelo, sino que también contribuirá a la mitigación del cambio climático y al desarrollo económico sostenible.

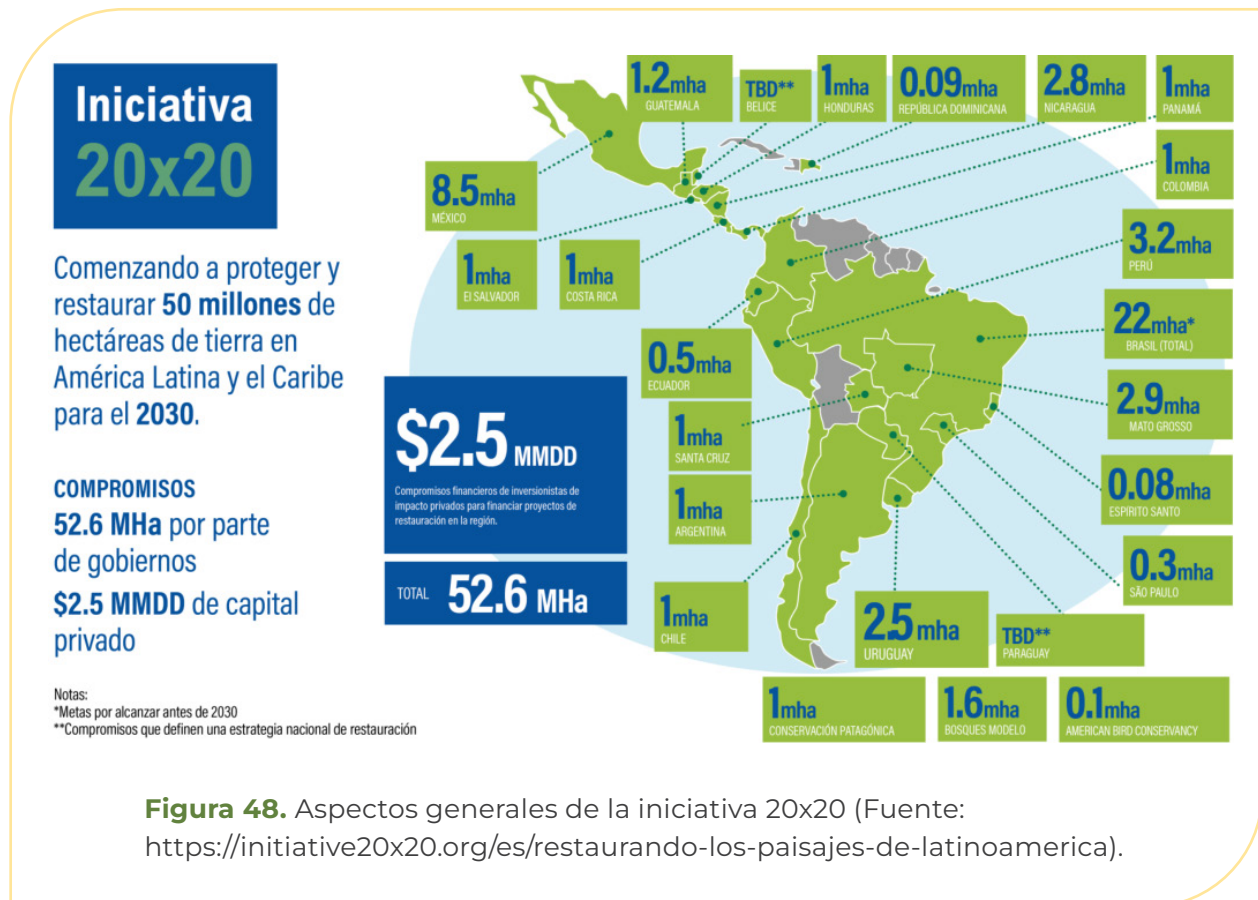


Figura 48. Aspectos generales de la iniciativa 20x20 (Fuente: <https://initiative20x20.org/es/restaurando-los-paisajes-de-latinoamerica>).

Agroforestería como estrategia integral

- La agroforestería se presenta como una oportunidad para la restauración de paisajes en América Latina, combinando la producción agrícola con la conservación de la biodiversidad. Los beneficios destacados incluyen la mejora de la fertilidad del suelo, la regulación del agua y el secuestro de carbono.

Plataformas digitales para el monitoreo y planificación

- **Observatorio de la Unión Europea sobre la deforestación y degradación forestal:** Esta plataforma ofrece datos detallados sobre la pérdida y ganancia de cobertura forestal a nivel mundial, permitiendo el monitoreo en tiempo real de estos cambios. Es una herramienta útil para la toma de decisiones en conservación y manejo sostenible de los bosques.
- **Global Forest Watch:** Plataforma interactiva que permite a los usuarios monitorear el estado de los bosques globales en tiempo real, proporcionando datos sobre la cobertura forestal, pérdida y ganancia de bosques, incendios y otras dinámicas forestales.
- **Diversity for Restoration:** Permite identificar especies de árboles adecuadas para proyectos de restauración en diferentes regiones, integrando información sobre distribución de especies, funcionalidad ecológica y condiciones ambientales.
- **Farm Tree Tool:** Herramienta que modela y evalúa sistemas agroforestales, simulando diferentes escenarios de uso de la tierra y estimando rendimientos productivos, impactos económicos y ambientales.
- **Shade Tree Advice:** Diseñada para ayudar a seleccionar especies de árboles de sombra adecuadas para una zona, optimizando la producción de las parcelas y mejorando la biodiversidad.
- **aCLIMAtar:** Proporciona datos climáticos y escenarios de riesgo para mejorar la adaptación al cambio climático en cultivos de café y cacao.
- **Cool Farm Tool:** Ofrece cálculos sobre emisiones de gases de efecto invernadero, biodiversidad, uso del agua y otros indicadores de sostenibilidad.

- **Cocoa Climate Risk Assessment Tool:** Herramienta para evaluar los riesgos climáticos específicos que afectan la producción de cacao, ofreciendo recomendaciones de manejo para mitigar estos riesgos.
- **Cacao Diversity:** Esta herramienta permite a los usuarios evaluar cómo el cambio climático podría afectar la producción de cacao en ubicaciones específicas, utilizando coordenadas o archivos KML. Proporciona proyecciones climáticas, recomienda variedades de cacao adecuadas para futuras condiciones y sugiere prácticas de manejo para asegurar la sostenibilidad del cultivo a largo plazo.

Dinámica de selección de herramientas

- Durante la sesión, se implementó una dinámica interactiva para seleccionar una herramienta digital que los participantes pudieran explorar más a fondo. Para ello, se utilizó un código QR que los asistentes podían escanear con sus dispositivos móviles o ingresar a través de un enlace en sus computadoras.
- La herramienta seleccionada por mayoría de votos fue Farm Tree Tool, una plataforma que permite modelar y evaluar sistemas agroforestales, simular diferentes escenarios de uso de la tierra, y analizar impactos económicos y ambientales.
- Se guió a los asistentes a través de la interfaz de Farm Tree Tool, demostrando cómo definir una parcela, introducir datos específicos sobre especies plantadas, y cómo utilizar los diferentes indicadores que la herramienta ofrece, como rendimiento, biomasa, y balance de carbono.
- Esta dinámica no solo permitió a los participantes interactuar directamente con una herramienta de planificación en tiempo real, sino que también les proporcionó una experiencia práctica sobre cómo estas plataformas pueden apoyar la toma de decisiones en la gestión sostenible de tierras y recursos naturales.



Figura 49. Herramienta seleccionada por los participantes.

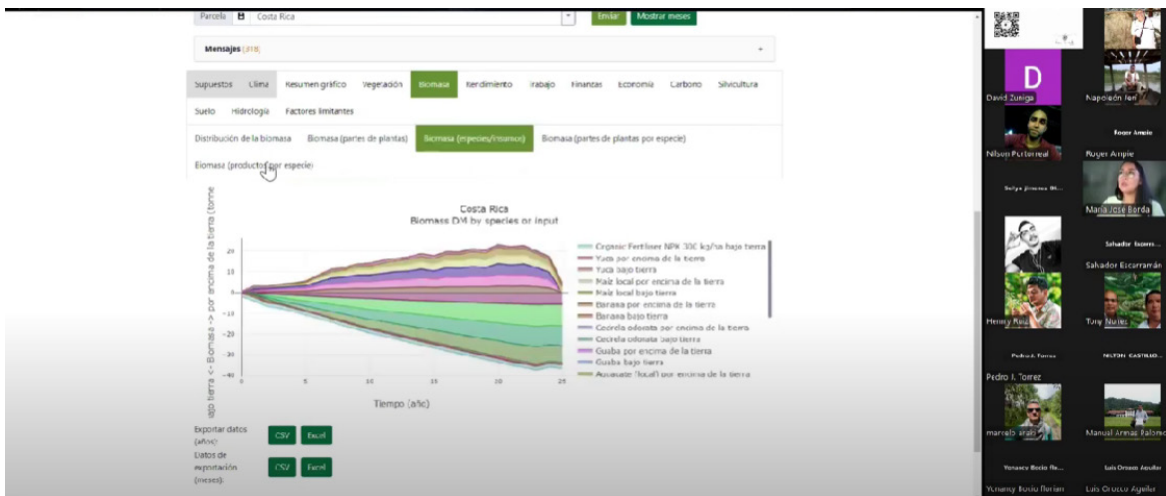


Figura 50. Visualización de los resultados generados con la herramienta Farm Tree Tool.

Conclusiones y reflexiones

Las plataformas presentadas son herramientas cruciales para planificar y tomar decisiones informadas en la implementación de prácticas agroforestales y restauración de paisajes. A través del uso de estas herramientas, los usuarios pueden monitorear cambios, planificar mejor el uso de sus tierras y contribuir a la restauración y conservación de los ecosistemas.

Entre las reflexiones, se destacó que si bien estas plataformas ofrecen datos valiosos, también presentan desafíos de accesibilidad y comprensión para los usuarios, especialmente aquellos con menos experiencia técnica. Esto se observa en las discusiones sobre la necesidad de tener datos precisos y la comprensión de cómo ingresar información correctamente en las plataformas. Por lo tanto, es crucial que haya capacitación y apoyo adecuado para garantizar que las herramientas se utilicen de manera efectiva.

Por último, muchas de las herramientas están diseñadas para funcionar en regiones específicas o bajo ciertas condiciones, lo que puede limitar su aplicabilidad en otros contextos. Por ejemplo, la herramienta Shade Tree Advice está restringida a ciertas regiones de Centroamérica y Sudamérica. Esta limitación destaca la necesidad de adaptar estas herramientas a diferentes contextos locales para maximizar su utilidad.

Preguntas de evaluación

1	<p>El objetivo principal de la Iniciativa 20x20 en América Latina es restaurar 50 millones de ha de tierras degradadas para 2030.</p> <p><input type="checkbox"/> Verdadero</p> <p><input type="checkbox"/> Falso</p>
2	<p>La agroforestería, en la restauración de paisajes, reduce la fertilidad del suelo y altera el ciclo del agua.</p> <p><input type="checkbox"/> Verdadero</p> <p><input type="checkbox"/> Falso</p>
3	<p>La restauración de paisajes contribuye a la mitigación del cambio climático incrementando el secuestro de carbono en los suelos y la vegetación.</p> <p><input type="checkbox"/> Verdadero</p> <p><input type="checkbox"/> Falso</p>
4	<p>Las plataformas tecnológicas proporcionan datos y herramientas para la toma de decisiones informadas y la planificación eficiente en la restauración de paisajes.</p> <p><input type="checkbox"/> Verdadero</p> <p><input type="checkbox"/> Falso</p>
5	<p>Las plataformas tecnológicas como Global Forest Watch y Aclimatar son esenciales para planificar y monitorear proyectos de restauración de paisajes de manera efectiva.</p> <p><input type="checkbox"/> Verdadero</p> <p><input type="checkbox"/> Falso</p>

Literatura citada y relacionada con el tema

Wolf, J. V. D., Jassogne, L., Gram, G., & Vaast, P. (2019). Turning local knowledge on agroforestry into an online decision-support tool for tree selection in smallholders' farms. *Experimental Agriculture*, 55(S1), 50-66. <https://doi.org/10.1017/S001447971600017X>

Enlaces de acceso a las herramientas presentadas:

- Cacao diversity. <https://cacaodiversity.org/es/>
- Cocoa Climate Risk Assessment Tool. <https://climatesmartcocoa.guide/>
- Cool Farm. <https://app.coolfarmtool.org/account/login/?next=/>
- aClimatar. <https://aclimatar.org/Dashboard/>
- Shade tree advice. <https://www.shadetreeadvice.org/>
- Farm tree tool. <https://tool.farmtree.earth/>
- Diversity for Restoration. <https://www.diversityforrestoration.org/tool.php>
- Global Forest Watch. <https://www.globalforestwatch.org/map/>
- Observatorio de la Unión Europea sobre deforestación y degradación forestal. <https://forest-observatory.ec.europa.eu/>

¿Por qué es necesario tener una buena definición para fomentar el desarrollo agroforestal del cacao (y del café)? El caso del cacao en África

Eduardo Somarriba, PhD.
esomarri@catie.ac.cr

Síntesis de la sesión

El concepto de agroforestería ha ganado relevancia en las últimas décadas como una estrategia integral que busca equilibrar la producción agrícola con la conservación de los recursos naturales. En este contexto, los sistemas agroforestales se han posicionado como una opción clave para aumentar la sostenibilidad de los cultivos perennes como el cacao y el café, especialmente en regiones tropicales. Sin embargo, la implementación efectiva de estos sistemas requiere definiciones claras y parámetros precisos que orienten las prácticas agroforestales y permitan su evaluación. En este contexto, se enmarcó la sesión titulada ¿Por qué es necesario tener una buena definición para fomentar el desarrollo agroforestal del cacao (y del café)? el caso del cacao en África.

La agroforestería es una estrategia con potencial para mejorar la productividad agrícola, diversificar los ingresos de los productores y restaurar los paisajes degradados. En el caso específico del cacao, este sistema se ha promovido como una alternativa sostenible para mitigar los impactos de la deforestación y la pérdida de biodiversidad, problemas particularmente graves en África Occidental y Central, que producen el 74.8% del cacao mundial. En estos países, la producción intensiva de cacao ha impulsado la tala de bosques naturales para aprovechar el capital de nutrientes acumulado en los suelos, lo que ha resultado en la degradación de vastas áreas forestales. A diferencia de América Latina, donde el cacao se ha asociado con prácticas más ecológicas, en África el cultivo ha sido una de las principales causas de deforestación, afectando la biodiversidad y el clima local.

La sesión inició contextualizando esta problemática, destacando que la falta de una definición clara y estandarizada de agroforestería en los sistemas cacaoteros ha generado confusión tanto entre los productores como entre los actores que promueven su adopción. En África, el cultivo de cacao se ha caracterizado por una alta densidad de plantación, lo que ha llevado a muchos productores a optar por no usar árboles de sombra o usar solo un número limitado. Este modelo ha facilitado la reducción de costos, como el control de malezas y la poda, pero ha provocado una pérdida significativa de cobertura arbórea en los paisajes cacaoteros.

Ante este panorama, la agroforestería emerge como una solución potencial, no solo para restaurar los paisajes degradados y conservar la biodiversidad, sino también para contribuir a la mitigación del cambio climático mediante el secuestro de carbono en los sistemas cacaoteros. Sin embargo, Somarriba explicó que la falta de una definición operativa y uniforme de lo que constituye un sistema agroforestal ha dificultado la implementación y evaluación de estas prácticas en campo. Actualmente, diferentes actores —gobiernos, empresas cacaoteras, ONGs y plataformas sectoriales— utilizan diversas definiciones de agroforestería, lo que genera inconsistencias y limita la capacidad de monitorear los avances hacia los objetivos propuestos.

La sesión presentó diversos ejemplos de definiciones utilizadas en África, mostrando cómo varían en función de parámetros agroforestales como la densidad arbórea, la cobertura del dosel, la riqueza de especies y la estratificación vertical. Algunas definiciones, más simples y enfocadas en la producción de cacao, establecen bajos requerimientos de cobertura arbórea y número de especies. En contraste, otros enfoques más complejos, como los sistemas sucesionales dinámicos, proponen una alta densidad de árboles y una mayor diversidad de especies, buscando equilibrar los beneficios agronómicos y ambientales.

El análisis sobre las definiciones agroforestales también incluyó un enfoque crítico sobre cómo estas afectan la capacidad de los actores para alcanzar sus metas de sostenibilidad. En particular, subrayó la importancia de que las definiciones incluyan parámetros claros y medibles que permitan a los diferentes actores, desde los gobiernos hasta las empresas, monitorear sus acciones de manera efectiva y medir el progreso en la restauración y conservación de los paisajes cacaoteros.

La sesión concluyó destacando la necesidad de desarrollar definiciones que no solo favorezcan la producción de cacao, sino que también promuevan la diversificación de los medios de vida de las familias productoras, la conservación de la biodiversidad y la mitigación del cambio climático.

Objetivo de la sesión

- El objetivo central de la sesión es destacar la importancia de contar con definiciones claras y operativas de los sistemas agroforestales en la industria del cacao y café, con el fin de fomentar prácticas que contribuyan tanto a la sostenibilidad económica de los productores como a la conservación ambiental. Durante la presentación se subrayan cómo las definiciones agroforestales pueden variar entre actores del sector (empresas, gobiernos y organizaciones) y cómo esta falta de uniformidad puede dificultar el seguimiento y evaluación de las acciones en el campo.

- El enfoque principal es mostrar cómo, en el contexto del cacao en África, la agroforestería está en un momento de auge debido a la necesidad de detener la deforestación y restaurar los paisajes degradados. A lo largo de la sesión, se busca proporcionar un marco analítico que permita a los actores del sector cacao evaluar la “bondad” de sus definiciones y asegurarse de que estas contribuyan al logro de objetivos tanto productivos como ambientales, tales como la conservación de biodiversidad, la captura de carbono y la mejora de los medios de vida de los pequeños productores.

Puntos clave abordados en la sesión

Contexto y necesidad de definiciones claras

- La sesión se centró en la importancia de contar con definiciones operativas claras en los sistemas agroforestales, especialmente en el cacao y el café. En este contexto, la falta de definiciones homogéneas ha generado confusión entre los actores del sector, complicando la medición y el seguimiento de las prácticas agroforestales. Esto es especialmente notorio en África, donde las iniciativas agroforestales están en auge debido a la necesidad de detener la deforestación y restaurar paisajes degradados.

Situación del cacao en África

- África occidental y central son las regiones más importantes a nivel global en cuanto a la producción de cacao, representando el 74.8 % del total mundial, con una producción estimada de 3.73 millones de toneladas. La producción de cacao en África se concentra en seis millones de ha, cultivadas principalmente por 2.6 millones de familias pequeñas. Países como Costa de Marfil, Ghana, Nigeria y Camerún lideran la producción cacaotera, siendo Costa de Marfil el equivalente a Brasil en el sector cafetero en América Latina.

- A diferencia del cacao en América, que ha sido visto como un cultivo amigable con el ambiente e incluso utilizado para la restauración de tierras degradadas, el cacao en África tiene una mala reputación debido a su asociación con la deforestación. La expansión del cacao en África se ha dado en áreas de bosques densos y de alto valor ecológico. Los productores aprovechan el capital de nutrientes acumulados en los suelos y la biomasa forestal para establecer cacaotales, lo que a su vez promueve la destrucción de bosques naturales.
- Muchos de los productores cacaoteros en África son migrantes que buscan bosques densos donde establecerse, aprovechando el capital natural del suelo. Estos productores cultivan cacao en zonas nuevas y luego se desplazan a otras áreas cuando las tierras pierden su fertilidad, lo que agrava la deforestación.



Figura 51. Pérdida de la cobertura arbórea en Ghana durante el periodo 2001-2021.

- Ante la presión internacional por detener la deforestación, el sector cacaotero africano ha comenzado a adoptar prácticas agroforestales. La agroforestería en África está siendo promovida tanto por gobiernos como por empresas chocolateras, plataformas sectoriales, ONGs y donantes internacionales, no solo para mitigar la deforestación, sino también para restaurar las áreas ya degradadas.
- La adopción de prácticas agroforestales en los cacaotales tiene el potencial de diversificar los medios de vida de las familias productoras a través de la producción de madera, frutas, y productos medicinales, además de mejorar la captura de carbono, contribuyendo a la mitigación del cambio climático.

Diferencias entre África y América Latina

- En América Latina, la expansión del cacao y del café ocurrió mucho antes, afectando principalmente los bosques nativos hace más de 150 años. En contraste, la expansión cacaotera en África ha ocurrido en las últimas décadas, lo que ha generado un impacto ambiental más reciente y visible. En ambos casos, la producción intensiva y la falta de manejo adecuado de los árboles de sombra ha llevado a una reducción en la cobertura arbórea.

Modelos de producción y políticas agroforestales

- Se destacó la importancia de las iniciativas agroforestales que buscan restaurar los paisajes cacaoteros en África. Estas políticas no solo tienen como objetivo aumentar la producción de cacao, sino también diversificar los ingresos de los pequeños productores al integrar árboles que producen madera, frutas y medicinas. Además, se busca conservar la biodiversidad y almacenar carbono, contribuyendo tanto a la adaptación como a la mitigación del cambio climático.

Desafíos en la definición de sistemas agroforestales

- Un punto clave de la presentación es la dificultad de definir claramente qué es un sistema agroforestal. Aunque existen definiciones generales como “la combinación de árboles, cultivos y animales en una misma superficie para satisfacer las necesidades del productor”, estas no son suficientes para medir de manera precisa los avances en la implementación de sistemas agroforestales.
- Las diferentes organizaciones que promueven la agroforestería utilizan definiciones que varían en cuanto a los parámetros como la densidad de árboles, la cobertura arbórea y la riqueza de especies.
- Uno de los desafíos más grandes en la implementación de agroforestería en África es la falta de una definición operativa única. Cada actor del sector (gobiernos, empresas chocolateras, ONGs) utiliza su propia definición de agroforestería, lo que crea confusión entre los productores y hace difícil medir el progreso de las acciones agroforestales de manera coherente.
- Aunque las definiciones varían, todas comparten ciertos componentes clave: densidad arbórea (número de árboles por hectárea), porcentaje de cobertura arbórea, riqueza de especies (total y desagregada en categorías como especies nativas y exóticas), y la estratificación vertical del dosel. Estos parámetros son esenciales para establecer una definición que permita medir los impactos positivos de la agroforestería en términos de producción, biodiversidad y mitigación del cambio climático.

Preguntas clave para definir la agroforestería en el contexto cacaotero africano

- **Densidad arbórea:** ¿Cuántos árboles por hectárea son necesarios para sostener una buena producción de cacao sin que la sombra excesiva interfiera con la fotosíntesis? En África, las plantaciones suelen tener una baja densidad de árboles, ya que se busca evitar la competencia con el cacao por luz y agua. Sin embargo, los árboles de sombra juegan un papel crucial en la mitigación del impacto ambiental, la captura de carbono y la conservación de la biodiversidad.

- **Riqueza de especies y número de estratos:** ¿Qué tan diversa debe ser la composición de especies en un sistema agroforestal? La riqueza de especies, tanto en cantidad como en diversidad, es un parámetro importante para garantizar la sostenibilidad ecológica de los cacaotales agroforestales. Además, la estratificación vertical del dosel arbóreo, es decir, el número de niveles de árboles con diferentes alturas, es clave para conservar la biodiversidad.
- **Compatibilidad de la agroforestería con la producción:** Una de las principales preguntas que se plantean los actores del sector cacaoero es si la agroforestería puede sostener o incluso mejorar la producción de cacao. Es necesario definir cuántos árboles se pueden incorporar en los cacaotales sin que afecten negativamente los rendimientos del cacao, mientras se mantienen los beneficios ecológicos.

Definiciones agroforestales específicas utilizadas en África

- **World Cocoa Foundation:** Según la World Cocoa Foundation, una de las definiciones más aceptadas incluye al menos 16 árboles por hectárea, con una cobertura arbórea mínima del 30 %, y la presencia de al menos cinco especies de árboles distribuidas en dos estratos verticales. Las especies de árboles deben ser nativas y cumplir funciones productivas, como la producción de madera o frutas, para mejorar los ingresos de los pequeños productores.
- **Rainforest Alliance:** Este estándar de certificación de cacao requiere una cobertura mínima del 40 % con al menos 12 especies de árboles nativos. La cobertura arbórea debe distribuirse en dos estratos verticales, promoviendo el uso de especies nativas.
- **Iniciativas europeas para cacao sostenible (ISCO):** Estas iniciativas exigen una densidad arbórea mínima de 25 árboles por hectárea, una cobertura de entre 30-40 %, y al menos 15 especies diferentes distribuidas en dos estratos. Las especies deben ser multipropósito, para contribuir a la producción familiar y mejorar la sostenibilidad ecológica de los cacaotales.

- **Modelos sucesionales dinámicos:** Algunos modelos agroforestales más avanzados promueven la incorporación de hasta 800 árboles por hectárea, con una cobertura arbórea que varía entre el 30 y el 100 %, distribuidos en tres estratos verticales. Estos sistemas buscan maximizar la captura de carbono y la conservación de la biodiversidad mediante la implementación de especies nativas, frutales, maderables, y musáceas.

Conclusiones y reflexiones finales

Se destacó que las definiciones agroforestales deben ser específicas y adaptadas a las realidades locales para ser útiles. Los sistemas agroforestales ofrecen múltiples beneficios económicos, sociales y ambientales, pero requieren de un manejo juicioso y adaptado a las condiciones locales para ser exitosos. Asimismo, destaca que el diseño de estos sistemas debe balancear los objetivos productivos con la conservación de la biodiversidad y la mitigación del cambio climático.

Una de las reflexiones más importantes es que los sistemas agroforestales, tanto en cacao como en café, deben diseñarse con un equilibrio entre los objetivos productivos y los ambientales. Es decir, es esencial que la agroforestería no solo se enfoque en aumentar la producción agrícola, sino también en conservar la biodiversidad, almacenar carbono y mejorar la resiliencia de los ecosistemas ante el cambio climático. Este balance es necesario para que los sistemas agroforestales sean sostenibles en el largo plazo, tanto en África como en América Latina.

A lo largo de la sesión se enfatiza que no existe una “única” definición de agroforestería que pueda aplicarse universalmente. En su lugar, se propone un enfoque en el cual cada actor pueda adaptar una definición que se ajuste a sus metas específicas, considerando las realidades ecológicas, económicas y sociales de su contexto. Lo importante es que esa definición sea clara, medible y orientada a la acción, permitiendo un seguimiento efectivo de los resultados.

Preguntas de evaluación

1	<p>A nivel global, se estima que los países del oeste de África producen más de 70% del cacao.</p> <p><input type="checkbox"/> Verdadero</p> <p><input type="checkbox"/> Falso</p>
2	<p>En el oeste de África, el cacao se planta a altas densidades (1600 plantas/ha) y poca sombra.</p> <p><input type="checkbox"/> Verdadero</p> <p><input type="checkbox"/> Falso</p>
3	<p>Hay varias definiciones de Agroforestería como ciencia, este esfuerzo de definición del término/concepto inicio desde la década de los 90.</p> <p><input type="checkbox"/> Verdadero</p> <p><input type="checkbox"/> Falso</p>
4	<p>Los parámetros mínimos y suficientes para definir un sistema agroforestal de cacao son tres: cobertura arbórea (%), densidad (plantas/ha) y riqueza de especies.</p> <p><input type="checkbox"/> Verdadero</p> <p><input type="checkbox"/> Falso</p>
5	<p>Todos las políticas/definiciones que se presentaron en la charla describen bien los parámetros mínimos y suficientes para diseñar y manejar SAF-cacao sostenibles.</p> <p><input type="checkbox"/> Verdadero</p> <p><input type="checkbox"/> Falso</p>

Literatura citada y relacionada con el tema

- Asare, R. (2006, May). A review on cocoa agroforestry as a means for biodiversity conservation. In *World Cocoa Foundation Partnership Conference, Brussels* (Vol. 15).
- Budowski, G. (1993). The scope and potential of agroforestry in Central America. *Agroforestry Systems*, 23(2), 121-131. <https://doi.org/10.1007/BF00704910>
- Dhyani, S. K., Nayak, D., & Rizvi, J. (2019). Historical development of Agroforestry and overview of global agroforestry systems. *Training Lecture Notes*, 16.
- Gama-Rodrigues, A. C., Müller, M. W., Gama-Rodrigues, E. F., & Mendes, F. A. T. (2021). Cacao-based agroforestry systems in the Atlantic Forest and Amazon Biomes: An ecoregional analysis of land use. *Agricultural Systems*, 194, 103270. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2021.103270>
- Nair, P. K. R. (1993). State-of-the-art of agroforestry research and education. *Agroforestry Systems*, 23(2), 95-119. <https://doi.org/10.1007/BF00704909>
- Somarriba, E. (1992). Revisiting the past: An essay on agroforestry definition. *Agroforestry Systems*, 19(3), 233-240. <https://doi.org/10.1007/BF00118781>

Enfoque de caficultura regenerativa y resultados de estudios de largo plazo

Elias de Melo Virginio Filho, Ph.D.
eliasdem@catie.ac.cr

Síntesis de la sesión

La agricultura regenerativa aplicada en sistemas agroforestales de café y cacao busca restaurar y mejorar los ecosistemas mediante prácticas sostenibles. Este enfoque es crucial en el contexto del cambio climático, donde se promueve la restauración de suelos, la conservación de la biodiversidad y la reducción de emisiones de CO₂. Se alienta a los países a fomentar la investigación y la cooperación para adoptar prácticas regenerativas que integren políticas nacionales y locales.

La agricultura regenerativa surgió en los años 80 como una alternativa a la agricultura convencional, enfocándose en la regeneración ecológica, rentabilidad económica y equidad social. Este modelo busca incrementar la materia orgánica del suelo, restaurar la salud del suelo, y aumentar la biodiversidad, promoviendo un balance positivo en la conversión de CO₂ y mejorando la infiltración de agua.

Los sistemas agroforestales con café enfrentan grandes desafíos, incluyendo la necesidad de rediseñar y manejar estrategias de adaptación al clima. Estos sistemas son esenciales para mitigar el cambio climático, proteger contra eventos extremos y contribuir a la adaptación climática. Además, los sistemas agroforestales reducen el estrés en los cultivos, mejoran la nutrición del suelo y promueven la diversidad económica.

Estudios a largo plazo han demostrado que los sistemas agroforestales con árboles de servicio, como el Poró, pueden aumentar la biomasa y mejorar el balance de carbono, superando las 100 toneladas de CO₂ por hectárea. Estos sistemas también muestran mejoras significativas en la salud del suelo y la presencia de microorganismos beneficiosos, lo cual es fundamental para el control biológico y la fertilidad del suelo.

La producción de café bajo sistemas agroforestales no solo mejora la calidad del suelo, sino que también contribuye a la infiltración de agua, reduciendo la escorrentía y beneficiando a comunidades locales. Esto es especialmente relevante en Centroamérica, donde innumerables fuentes de agua están ubicadas en zonas cafetaleras. Además, la integración de árboles en los sistemas de café y cacao también atrae a controladores naturales de plagas, como aves y abejas, lo que mejora la productividad y reduce la necesidad de insumos químicos. La presencia de estos polinizadores y controladores biológicos es crucial para mantener un ecosistema equilibrado y productivo.

Se concluye que, la agroforestería aplicada con principios regenerativos ofrece una solución viable y sostenible para enfrentar los desafíos ambientales actuales, promoviendo prácticas que no solo restauran el medio ambiente, sino que también mejoran la rentabilidad y la resiliencia de los sistemas agrícolas.

Objetivo de la sesión

- El objetivo central de la sesión fue presentar los fundamentos de la caficultura regenerativa, respaldados por estudios de largo plazo, que demuestran su viabilidad como una alternativa a la agricultura convencional. El enfoque estuvo en cómo la regeneración de los suelos y la biodiversidad no solo mejora la sostenibilidad del sistema productivo, sino que también contribuye a mitigar los efectos del cambio climático y aumentar la resiliencia de las fincas cafetaleras.

Puntos clave abordados en la sesión

Origen de la agricultura regenerativa

- La agricultura regenerativa tiene sus raíces en los años 80, cuando el Instituto Rodale definió este concepto como una respuesta a los problemas ambientales, sociales y económicos provocados por la agricultura convencional, ligados a prácticas agrícolas insostenibles, como el uso excesivo de insumos químicos y la deforestación.
- Esta situación ha causado una degradación severa en los ecosistemas, con efectos negativos como la pérdida de biodiversidad, la erosión del suelo y la contaminación del agua. Frente a este escenario, se plantea que la agricultura regenerativa surge como una respuesta fundamental, no solo para mitigar los efectos del cambio climático, sino también para regenerar los ecosistemas agrícolas que han sido degradados.
- La agricultura regenerativa propone una alternativa que busca restaurar la salud de los suelos, aumentar la biodiversidad y ofrecer rentabilidad económica, sin comprometer el equilibrio ecológico. La sesión explicó que los sistemas regenerativos no solo benefician a los ecosistemas, sino que también son socialmente equitativos y ambientalmente sostenibles.

Ventajas sobre la agricultura convencional

- La agricultura regenerativa ofrece múltiples beneficios en comparación con los sistemas convencionales. Uno de los puntos más destacados fue el aumento en la materia orgánica del suelo, lo que mejora su fertilidad y capacidad de retención de agua, aspectos fundamentales en zonas con estrés hídrico.
- También se subrayó la restauración biológica del suelo, donde la diversidad microbiana y biológica se ve favorecida, contribuyendo a un ecosistema más sano y productivo. Asimismo, la captura de carbono es un aspecto crucial, ya que los sistemas agroforestales regenerativos no solo almacenan carbono en el suelo y los árboles, sino que también ayudan a mitigar las emisiones de CO₂, apoyando los esfuerzos globales de lucha contra el cambio climático.

- Se mencionó la reducción del uso de insumos sintéticos de alto impacto ambiental, como los fertilizantes químicos, y el aumento de la infiltración y retención de agua en los suelos, lo que ayuda a mantener la productividad agrícola en contextos climáticamente adversos.

Prácticas fundamentales de la agricultura regenerativa

- Se discutieron diversas prácticas que se consideran esenciales para la agricultura regenerativa. Entre ellas destacan el uso de bioinsumos, que sustituyen los fertilizantes y pesticidas sintéticos por productos biológicos que mejoran la salud del suelo y controlan plagas de forma natural.
- También se enfatizó la importancia de integrar árboles en los sistemas de producción (agroforestería), los cuales no solo mejoran la biodiversidad, sino que también contribuyen a regular el microclima y reducir la erosión del suelo.

Técnica	Descripción
Agricultura natural (Natural farming)	Basada en intervenir lo menos posible en el sistema para dejar que los procesos naturales hagan su trabajo. Propone la rotación de los cultivos dentro de un mismo año y busca el momento adecuado para llevar a cabo cada actuación.
Agricultura orgánica	Sistema de cultivo basado en la utilización óptima de los recursos naturales, sin emplear productos químicos y promoviendo la producción de biofertilizantes y microorganismos nativos.
Agricultura del carbono	Consiste en dejar el suelo sin arar, ya que labrar los campos puede alterar la estructura natural del suelo y liberar el carbono almacenado a la atmósfera.
Cultivos de cereal sobre pastos perennes (Pasture cropping)	Implica sembrar cereales de invierno directamente sobre prados perennes que están activos en verano.
Agroforestería	Sistema de cultivo que combina árboles con cultivos o ganado en el mismo terreno para incrementar las sinergias entre ellos.
Diseño de líneas clave (Keyline design)	Sistema que permite almacenar agua distribuyéndola de forma homogénea por las líneas-clave según la topografía del terreno.
Manejo holístico (Holistic management)	Basado en planificar cómo utilizar densidades de ganado muy altas en espacios pequeños, pero con periodos de recuperación muy largos, cumpliendo una programación predeterminada.
Pastoreo racional voisin	Sistema basado en la combinación del conocimiento de la ecofisiología del rebrote del pasto y las necesidades y el bienestar animal, a fin de escoger la parcela más adecuada en cada momento para el pasto y para el ganado.
Granjas polifacéticas (Polyface farms)	Son granjas agro-silvo-pastorales resilientes que integran suelo vivo, plantas y animales aumentando la fertilidad del sistema.

Figura 52. Prácticas fundamentales de la agricultura regenerativa reconocidas.

- Otras prácticas incluyen el manejo adecuado del agua, como la captación de agua de lluvia y la mejora en la infiltración de los suelos, y la rotación de cultivos para evitar la degradación del suelo y promover una mayor diversidad biológica. Estas prácticas son parte de un enfoque holístico que busca restaurar y mantener el equilibrio ecológico a largo plazo.

Importancia de los árboles de servicio

- Un aspecto central de la agricultura regenerativa discutido en la sesión es la inclusión de árboles de servicio, como las leguminosas fijadoras de nitrógeno, que cumplen varias funciones esenciales en los sistemas agroforestales:
 1. **Fijación de nitrógeno:** Los árboles de servicio, como el Poró (*Erythrina* spp.), pueden fijar nitrógeno atmosférico en el suelo, lo que reduce la necesidad de fertilizantes químicos. Esto no solo mejora la fertilidad del suelo, sino que también disminuye los costos de producción para los agricultores.
 2. **Ciclaje de nutrientes:** A través de la caída de hojas y ramas, estos árboles contribuyen al reciclaje de nutrientes, mejorando la disponibilidad de elementos esenciales como el fósforo y el potasio para los cultivos.
 3. **Sombra y regulación del microclima:** La presencia de árboles proporciona sombra a los cultivos, lo que ayuda a regular la temperatura y la humedad del suelo, disminuyendo el estrés hídrico y térmico en las plantas, especialmente en los cultivos de café. Se mencionó que en áreas donde el café se cultiva bajo sombra, los rendimientos tienden a ser más estables y las plantas están mejor protegidas frente a condiciones climáticas extremas.
 4. **Protección contra la erosión:** Los árboles también contribuyen a proteger el suelo contra la erosión, ayudando a mantener su estructura y evitando la pérdida de capas superficiales durante lluvias intensas.

Estudios de largo plazo en CATIE

- Un aspecto clave de la sesión fue la presentación de los resultados del ensayo agroforestal a largo plazo llevado a cabo en el CATIE, el cual ha evaluado los beneficios de los sistemas agroforestales con café. Estos estudios, realizados durante más de 20 años, han demostrado que los sistemas agroforestales regenerativos pueden ser altamente efectivos para la captura de carbono y la restauración de suelos degradados. Algunos hallazgos clave incluyen:
 - Balance positivo de carbono:** Los sistemas agroforestales evaluados mostraron un balance positivo en la captura de carbono, lo que significa que estos sistemas no solo neutralizan sus emisiones, sino que también ayudan a secuestrar carbono adicional de la atmósfera. Este es un resultado significativo para la mitigación del cambio climático.

Cuadro 13. Promedio anual de captura de carbono, emisiones, y balance neto en los diferentes sistemas, periodo 2000-2009, Turrialba. Fuente: elaborado con base en Noponen (2012).

Sistemas*	Manejo**	Captura de C en biomasa y hojarasca (Mg CO ₂ e ha ⁻¹ año ⁻¹)	Emisiones (Mg CO ₂ e ha ⁻¹ año ⁻¹) (Entre paréntesis orden de menor (1) a mayor (14) emisiones)	Balance anual neto CO ₂ e (Mg CO ₂ e ha ⁻¹ año ⁻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)

*CE = C. eurycyclum; EP = E. poeppigiana; TA = T. amazonia; PSol = Pieno Sol;
 **MO=Manejo Orgánico Intensivo; MC = Manejo Moderado Convencional.

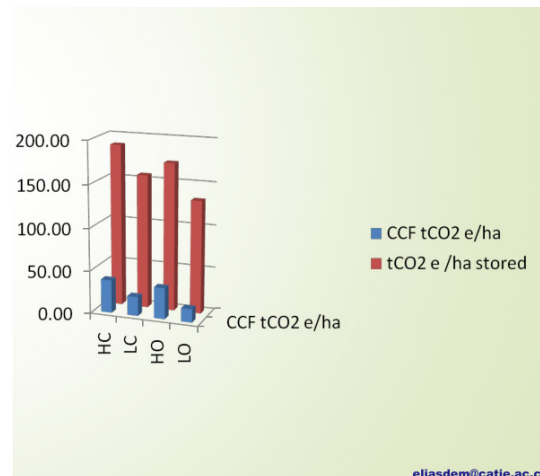


Figura 53. Balance de carbono bajo diferentes arreglos de sombra en sistemas agroforestales con café.

2. **Control natural de plagas:** Los sistemas agroforestales con café también han demostrado ser más eficaces en el control de plagas de manera natural, sin el uso de pesticidas químicos. La mayor diversidad de plantas y el hábitat que brindan los árboles favorecen la presencia de depredadores naturales de plagas, como aves y pequeños mamíferos.
 3. **Resiliencia y productividad:** Los sistemas agroforestales han mostrado ser más resilientes frente a las fluctuaciones climáticas, con una mayor capacidad para mantener la productividad en condiciones adversas. Esto es especialmente importante en cultivos como el café, donde el cambio climático ha generado grandes desafíos en cuanto a la estabilidad de los rendimientos.
- Además, se destacó el reciclaje de nutrientes a partir de las podas de los componentes agroforestales, lo que reduce la dependencia de insumos externos y mejora la fertilidad del suelo. Estos estudios también han mostrado que los sistemas agroforestales con café mejoran significativamente la producción de agua, permitiendo una mayor infiltración en el suelo y reduciendo la escorrentía superficial.



Figura 54. Especies de aves consumidoras de la broca del café.



Sistema de *Erythrina poeppigiana* en manejos AC (poda drástica de árboles dos veces al año)
(Foto: E. de M. Virgínio 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. Virgínio Filho, 2004)



Sistemas de *Erythrina poeppigiana* (Ep) + *Chloroleucon eurycyllum* en manejos MC, MO, BO. En AC la diferencia es que Ep está con poda drástica
(Foto: E. de M. Virgínio Filho, 2012)



Sistemas de sombra de *Erythrina poeppigiana* + *Terminalia amazonia* en manejos MC, MO
(Foto: E. de M. Virgínio Filho, 2012)



Sistemas *Chloroleucon eurycyllum* + *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. Virgínio Filho, 2015)



Sistemas *Chloroleucon eurycyllum* en manejos MC y MO
(Foto: E. de M. Virgínio Filho, 2015)

eliasdem@catie.ac.cr

Figura 55. Arreglos de sombra del ensayo agroforestal a largo plazo del CATIE.

Agua y sistemas agroforestales

- La disponibilidad de agua es uno de los recursos más críticos en la agricultura, y la sesión resalta cómo los sistemas agroforestales contribuyen a mejorar la gestión hídrica en las fincas:

- 1. Aumento de la infiltración:** En zonas como Aquiares, Costa Rica, los estudios han mostrado que hasta un 91% del agua de lluvia se infiltra en el suelo en sistemas agroforestales, en comparación con sistemas de pleno sol donde la mayor parte del agua se pierde como escorrentía superficial. Esto no solo mejora la disponibilidad de agua para los cultivos, sino que también ayuda a recargar los acuíferos subterráneos.
- 2. Protección de las fuentes de agua:** Los árboles en los sistemas agroforestales actúan como barreras naturales, protegiendo las fuentes de agua de la contaminación y de la evaporación excesiva. En muchas zonas cafetaleras, la presencia de sistemas agroforestales está vinculada con la conservación de fuentes de agua que abastecen a poblaciones cercanas.

Propuesta para la caficultura regenerativa

- La sesión finalizó con una propuesta para la implementación de prácticas regenerativas en la caficultura a escala global. Se presentaron ejemplos de proyectos piloto en países de América Latina como Brasil, Colombia, Costa Rica, Honduras, Guatemala y Perú, que están promoviendo el uso de sistemas agroforestales en el cultivo de café. Estos proyectos buscan combinar el uso de variedades mejoradas de café resistentes al cambio climático con la integración de árboles de servicio como el poró, que mejoran la estructura del suelo y aportan nitrógeno de manera natural.
- La estrategia propuesta se basa en un enfoque de transición hacia sistemas regenerativos, donde se incentiva a los productores a reducir gradualmente su dependencia de insumos químicos, incrementando al mismo tiempo la biodiversidad y la resiliencia de sus sistemas productivos. Esta transición, según se explicó, es clave para alcanzar una agricultura más sostenible y rentable a largo plazo, especialmente en las regiones afectadas por el cambio climático.

Conclusiones y reflexiones finales

La sesión concluyó resaltando la importancia de transitar hacia modelos productivos más sostenibles y regenerativos, particularmente en el sector cafetalero. Las prácticas convencionales, que dependen de insumos químicos, están agotando los recursos naturales y agravando problemas como la degradación del suelo y el cambio climático. Los sistemas agroforestales regenerativos no solo promueven un uso más eficiente de los recursos, sino que también ofrecen una solución a largo plazo para mitigar las emisiones de carbono, mejorar la biodiversidad y garantizar la resiliencia de las fincas frente a las crisis climáticas. Es imperativo que los productores, gobiernos y organizaciones internacionales trabajen juntos para escalar estas soluciones y asegurar un futuro sostenible para la agricultura.

Este enfoque, basado en estudios científicos rigurosos y experiencia de campo, muestra que la caficultura regenerativa no solo es viable, sino esencial para mitigar los efectos adversos del cambio climático y asegurar la sostenibilidad de las fincas cafetaleras. Las prácticas regenerativas no solo restauran los suelos y mejoran la biodiversidad, sino que también ofrecen una solución económicamente viable para los agricultores que buscan reducir su dependencia de insumos externos. La agricultura regenerativa se presenta como una alternativa prometedora para el futuro de la producción de café en todo el mundo.

Preguntas de evaluación

1	<p>La agricultura regenerativa como practica se sitúa en la clasificación general de agricultura climáticamente inteligente.</p> <p><input type="checkbox"/> Verdadero</p> <p><input type="checkbox"/> Falso</p>
2	<p>Recientemente los científicos descubrieron que los árboles, en una relación simbiótica con microorganismos en la corteza del tronco fijan metano.</p> <p><input type="checkbox"/> Verdadero</p> <p><input type="checkbox"/> Falso</p>
3	<p>La caficultura regenerativa que incluye arboles de sombra es menos rentable y sostenible que la caficultura intensiva con poco o nada de sombra.</p> <p><input type="checkbox"/> Verdadero</p> <p><input type="checkbox"/> Falso</p>
4	<p>El diseño y manejo oportuno de los árboles de sombra en cafetales permite tener un balance anual positivo de secuestro de carbono en el sistema agroforestal.</p> <p><input type="checkbox"/> Verdadero</p> <p><input type="checkbox"/> Falso</p>
5	<p>Los estudios de largo plazo en los ensayos del CATIE indican que los SAF-café bajo manejo orgánico requieren de la corrección de la acidez del suelo con cal de forma anual.</p> <p><input type="checkbox"/> Verdadero</p> <p><input type="checkbox"/> Falso</p>

Literatura citada y relacionada con el tema

- Gracia, M., Broncano, M.J., Retana, J. (2021). Manual para el diseño e implementación de un modelo agroalimentario regenerativo: el sistema Polyfarming. CREAF.
https://polyfarming.eu/wp-content/uploads/2021/06/Manual_Polyfarming.pdf
- Lara Estrada, L. D. (2005). Efectos de la altitud, sombra, producción y fertilización sobre la calidad del café (*Coffea arabica* L. var. Caturra) producido en sistemas agroforestales de la zona cafetalera norcentral de Nicaragua. <https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/1503>
- Virginio Filho, E., Cervantes, M. (2023). Agricultura regenerativa en fincas piñeras (*Ananas comosus*): un enfoque innovador en el contexto del cambio climático. Rainforest Alliance- CATIE. <https://www.rainforest-alliance.org/es/resource-item/agricultura-regenerativa-en-fincas-pineras-guia-para-productores/>
- Virginio Filho, E., Cervantes, M. (2023). Agricultura regenerativa en fincas piñeras (*Ananas comosus*): un enfoque innovador en el contexto del cambio climático. Rainforest Alliance- CATIE.
- Virginio Filho, E., Somarriba, E., Cerda, R., Casanoves, F., Cordero, C. A., Avelino, J., Roupsard, O., Rapidel, B., Vaast, P., Harmand, J.-M., Staver, C., Beer, J., Mora, A., Morales, V. H., Fonseca, C., Vargas, V. J., Ramírez, L. G., Soto, G., Isaac, M. E., ... Hagggar, J. (2021). 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. *AgroForestería en las Américas*. <https://agritrop.cirad.fr/598907/>

Plasticidad ecofisiológica del cacao

Ramón E. Jaimez, Ph.D.
ramon.jaimez@utm.edu.ec

Síntesis de la sesión

La plasticidad se define como un mecanismo que favorece a las especies ante condiciones heterogéneas, lo que hace que éstas respondan positivamente a la selección natural, definida como la preservación de las variaciones útiles y la eliminación de las nocivas; en términos generales es la descendencia con modificación (Matamoros y Moreno, 2001). Por otro lado, la Ecofisiología de cultivos estudia la relación entre el funcionamiento fisiológico de los cultivos y su producción, y como dicho funcionamiento es afectado por el ambiente. Integra conceptos de distintas disciplinas a mayor nivel de complejidad con la finalidad de generar pautas de manejo para los productores y de orientar al mejoramiento genético de las especies cultivadas (Andrade et al., 2011).

En este marco, la presente sesión aborda sobre la plasticidad ecofisiológica del cacao, con particular énfasis en su manejo dentro de sistemas agroforestales. Se inicia con una introducción a la importancia de la ecofisiología y la plasticidad fenotípica, destacando cómo un genotipo puede dar lugar a distintos fenotipos según el ambiente donde se desarrolle. Esto incluye cambios en la morfología, fisiología y producción, dependiendo de factores como la radiación solar, el manejo de la sombra, la disponibilidad de agua y los nutrientes del suelo. Esta capacidad de adaptación es esencial para optimizar la producción de cacao en respuesta a variables ambientales.

La sesión se enfoca en integrar conocimientos de variables fisiológicas y de producción, resaltando las complejidades del cultivo de cacao. Se discuten los desafíos que enfrenta el cacao debido a la variabilidad climática, como el cambio en las temperaturas y la precipitación, que afectan directamente la productividad y la salud de las plantas. Estos cambios también influyen en la dinámica de plagas y enfermedades, lo que subraya la necesidad de una investigación más profunda en la ecofisiología del cacao.

También se explora la estructura y el manejo de sistemas agroforestales, donde el cacao se beneficia de la sombra y la biodiversidad proporcionada por otras especies arbóreas. Se describen varios ejemplos de intercalado de cacao con otros cultivos en Brasil, mostrando cómo estas combinaciones pueden mejorar la eficiencia del uso del espacio y reducir la transpiración, lo cual es crucial en condiciones climáticas adversas. Asimismo, se destaca la importancia de la investigación colaborativa y multidisciplinaria para abordar las limitaciones ambientales a lo largo del ciclo de vida del cacao. La presentación enfatiza la necesidad de estudios que consideren múltiples factores de estrés, como la sequía y el déficit de agua, que son críticos para mejorar la resiliencia del cacao.

Para cerrar la sesión, se presentan datos sobre la diversidad genética y los programas de mejoramiento, que son vitales para el desarrollo de cultivares con características deseables, como la resistencia a enfermedades y una mejor calidad del fruto. Se concluye con un llamado a la integración de la investigación y el manejo práctico, con el fin de asegurar un futuro sostenible para la producción de cacao en un clima cambiante.

Objetivo de la sesión

- El objetivo central de la sesión fue explicar el concepto de plasticidad ecofisiológica del cacao, es decir, la capacidad del cacao de adaptarse y modificar su comportamiento fenotípico en respuesta a las variaciones del entorno. Esto incluye cambios en la morfología, fisiología y productividad de la planta, dependiendo de factores como la luz, el agua y la temperatura. A través de este enfoque, se busca entender mejor cómo el cacao puede manejarse de manera más eficiente en condiciones de estrés ambiental, especialmente en el contexto del cambio climático.

Puntos clave abordados en la sesión

Producción de flores y polinización en el cacao

- El cacao tiene una capacidad extraordinaria para producir una gran cantidad de flores al año, alcanzando hasta 125,000 flores por árbol, según estudios realizados en los años 80. Sin embargo, uno de los principales desafíos que enfrenta la producción es la baja tasa de polinización natural, ya que solo entre el 5% y el 10% de las flores son polinizadas.
- De ese pequeño porcentaje, solo una fracción logra convertirse en mazorca. Esta baja eficiencia se debe a una combinación de factores, entre ellos la falta de polinizadores adecuados y los procesos fisiológicos dentro del árbol, como el “cherelle wilt”, que es la caída prematura de los frutos jóvenes conocidos como “cherelles”.
- Esta caída ocurre incluso cuando los frutos han sido polinizados correctamente, lo que sugiere que hay mecanismos fisiológicos dentro de la planta que limitan el desarrollo de una gran cantidad de frutos simultáneamente. Comprender mejor estos procesos fisiológicos es fundamental para mejorar la productividad del cacao, especialmente en climas tropicales donde los factores ambientales pueden agravar estos problemas.



Figura 56. Estado de cherelle en cultivo de cacao.

Plasticidad genotípica de los cultivos

- Un único genotipo puede producir distintos fenotipos en distintos entornos. Esta propiedad fundamental de los organismos se conoce como plasticidad fenotípica. Se ha demostrado que las plantas son plásticas para una notable variedad de características ecológicamente importantes, que abarcan desde diversos aspectos de la morfología y la fisiología hasta la anatomía, el tiempo de desarrollo y reproducción, el sistema de reproducción y los patrones de desarrollo de la descendencia.
- Diversos factores ambientales y de manejo, como la lluvia, el suelo, las plagas y la fertilización, afectan los procesos metabólicos y morfológicos de un cultivo, lo cual determina su plasticidad fenológica. Al comprender estos procesos y sus consecuencias, es posible desarrollar programas de mejoramiento genético y propuestas de manejo que optimicen la producción agrícola, lo cual permitiría adaptar las prácticas y seleccionar cultivares para maximizar su rendimiento en diferentes condiciones.

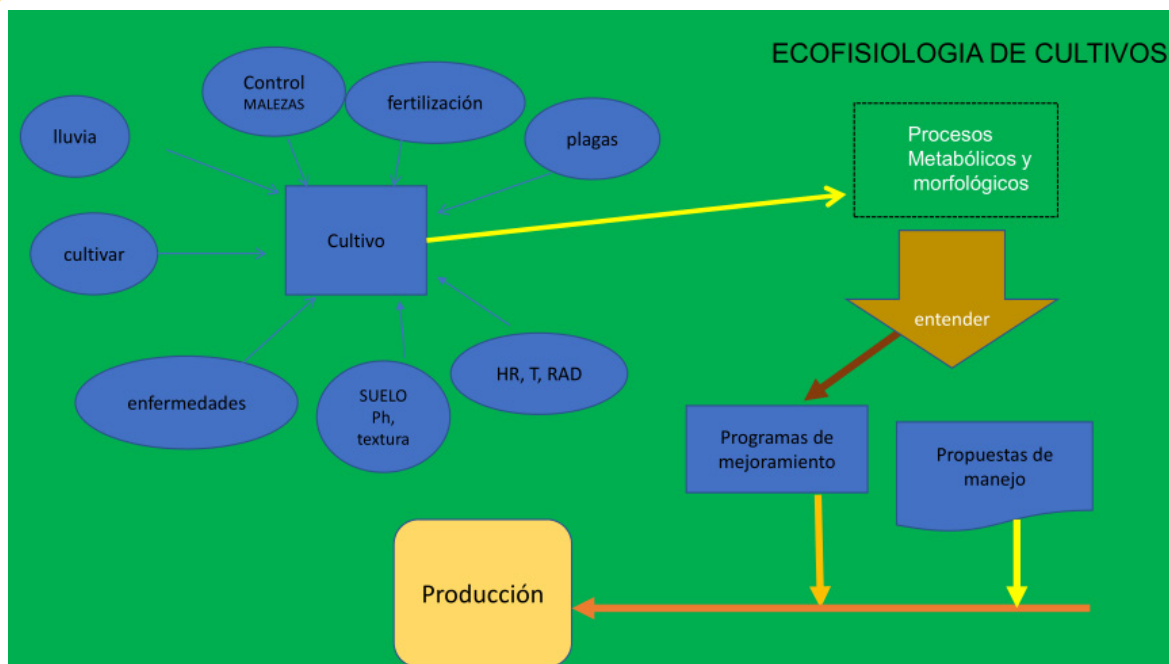


Figura 57. Interacción de factores ambientales y de manejo en la ecofisiología de los cultivos.

Impacto de la radiación en la fotosíntesis y el crecimiento del cacao

- La radiación solar es uno de los factores más influyentes en la fotosíntesis del cacao. Sin embargo, hay un límite en la cantidad de luz que la planta puede procesar eficientemente. En estudios ecofisiológicos, se ha demostrado que a niveles de radiación de aproximadamente 300 a 400 μmol de fotones/ m^2/s , la tasa de fotosíntesis del cacao alcanza su punto óptimo.
- Cualquier aumento en la cantidad de luz más allá de este punto puede resultar en fotoinhibición, lo que significa que la planta comienza a absorber más radiación de la que puede utilizar de manera eficiente. Este exceso de radiación puede dañar los mecanismos fotosintéticos, reduciendo la capacidad de la planta para convertir la luz en energía útil para el crecimiento y la producción.

- En contraste, cuando el cacao se cultiva bajo sombra moderada, se mitiga la fotoinhibición y se optimiza el microclima alrededor de las plantas. Los sistemas agroforestales que combinan el cacao con árboles de sombra permiten una mejor regulación de la luz que llega a las plantas de cacao, lo que a su vez mejora el rendimiento fotosintético. Este control del microclima también reduce la transpiración y la pérdida de agua, ayudando a las plantas a manejar mejor el estrés hídrico.
- Efectos del déficit hídrico en el cacao y la importancia del ajuste osmótico
- El déficit hídrico es una de las principales limitaciones para la producción de cacao, especialmente en zonas donde la precipitación es irregular o donde las sequías estacionales son comunes. En este contexto, la capacidad del cacao para ajustarse osmóticamente se convierte en un factor crucial para su supervivencia y productividad.
- El ajuste osmótico es un mecanismo por el cual las plantas acumulan solutos en sus células, lo que les permite retener más agua y evitar la deshidratación durante periodos de sequía. Los estudios presentados en esta sesión destacaron que algunas variedades de cacao, como el CCN 51 y otros cultivares ecuatorianos y venezolanos, han mostrado una mayor capacidad para ajustar osmóticamente, lo que les permite tolerar mejor el déficit hídrico.
- Este descubrimiento es importante porque indica que no todas las variedades de cacao responden de la misma manera al estrés hídrico. Los cultivares con mayor ajuste osmótico no solo sobreviven mejor en condiciones secas, sino que también mantienen una mayor tasa de fotosíntesis y productividad en comparación con aquellos que no tienen esta capacidad.

Interacción entre luz, agua y temperatura en el crecimiento del cacao

- El cacao responde de manera compleja a la interacción entre la luz, el agua y la temperatura. En condiciones de alta radiación solar y déficit hídrico, las plantas de cacao tienden a reducir su tasa de fotosíntesis debido a un aumento en la temperatura de las hojas y una mayor demanda evaporativa.

- En los estudios presentados, se mostró que en escenarios de radiación alta, las plantas experimentan una mayor fotoinhibición y una mayor tasa de respiración, lo que implica que las plantas utilizan una proporción significativa de los carbohidratos producidos para sus procesos respiratorios, en lugar de destinar estos recursos al crecimiento o a la producción de frutos.
- Además, en sistemas agroforestales donde el cacao se cultiva bajo sombra, se observó que la tasa de fotosíntesis es más estable, incluso en condiciones de déficit hídrico. Esto se debe a que la sombra reduce la temperatura del aire y del suelo, disminuye la evaporación y mantiene un mejor balance hídrico en las plantas.
- El cacao, al ser una planta originaria de bosques tropicales, tiene una mayor adaptación a condiciones de sombra que a pleno sol, por lo que los sistemas agroforestales ofrecen un ambiente más propicio para su desarrollo.

Diseños agroforestales que optimizan la producción de cacao

- Durante la sesión se presentaron varios modelos de sistemas agroforestales diseñados para optimizar la producción de cacao. Estos modelos incluyen la integración del cacao con árboles maderables, como el cedro y la teca, o con cultivos adicionales, como el coco y el plátano.
- Este tipo de sistemas permiten un aprovechamiento eficiente del espacio vertical, donde los árboles proporcionan sombra para el cacao y, al mismo tiempo, generan productos adicionales que diversifican los ingresos del productor.
- Uno de los aspectos clave discutidos en relación con estos diseños fue la densidad de los árboles de sombra. Si bien la sombra es esencial para evitar la fotoinhibición, un exceso de sombra puede reducir la tasa de fotosíntesis del cacao, afectando negativamente la producción. Por ello, se recomendó una densidad de sombra moderada, alrededor del 50% de cobertura, para asegurar un balance adecuado entre la cantidad de luz que recibe el cacao y su capacidad para fotosintetizar sin estrés.

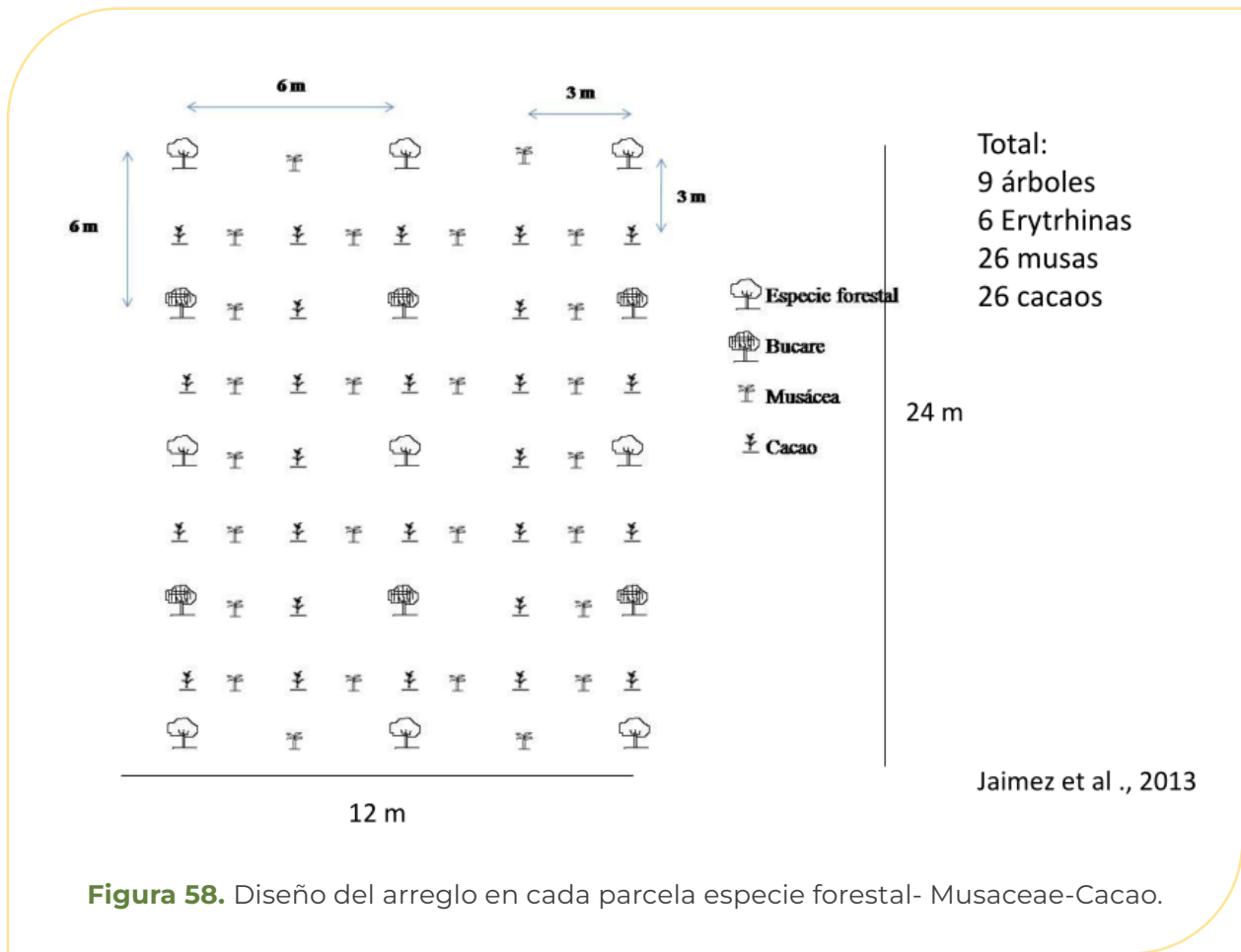


Figura 58. Diseño del arreglo en cada parcela especie forestal- Musaceae-Cacao.

Proyecciones de cambio climático y su impacto en la producción de cacao

- Los escenarios futuros de cambio climático plantean desafíos adicionales para la producción de cacao. Los estudios del IPCC y otros modelos climáticos proyectan un aumento en las temperaturas globales y una mayor variabilidad en las precipitaciones, lo que afectará directamente a las zonas productoras de cacao en América Latina, África y Asia.

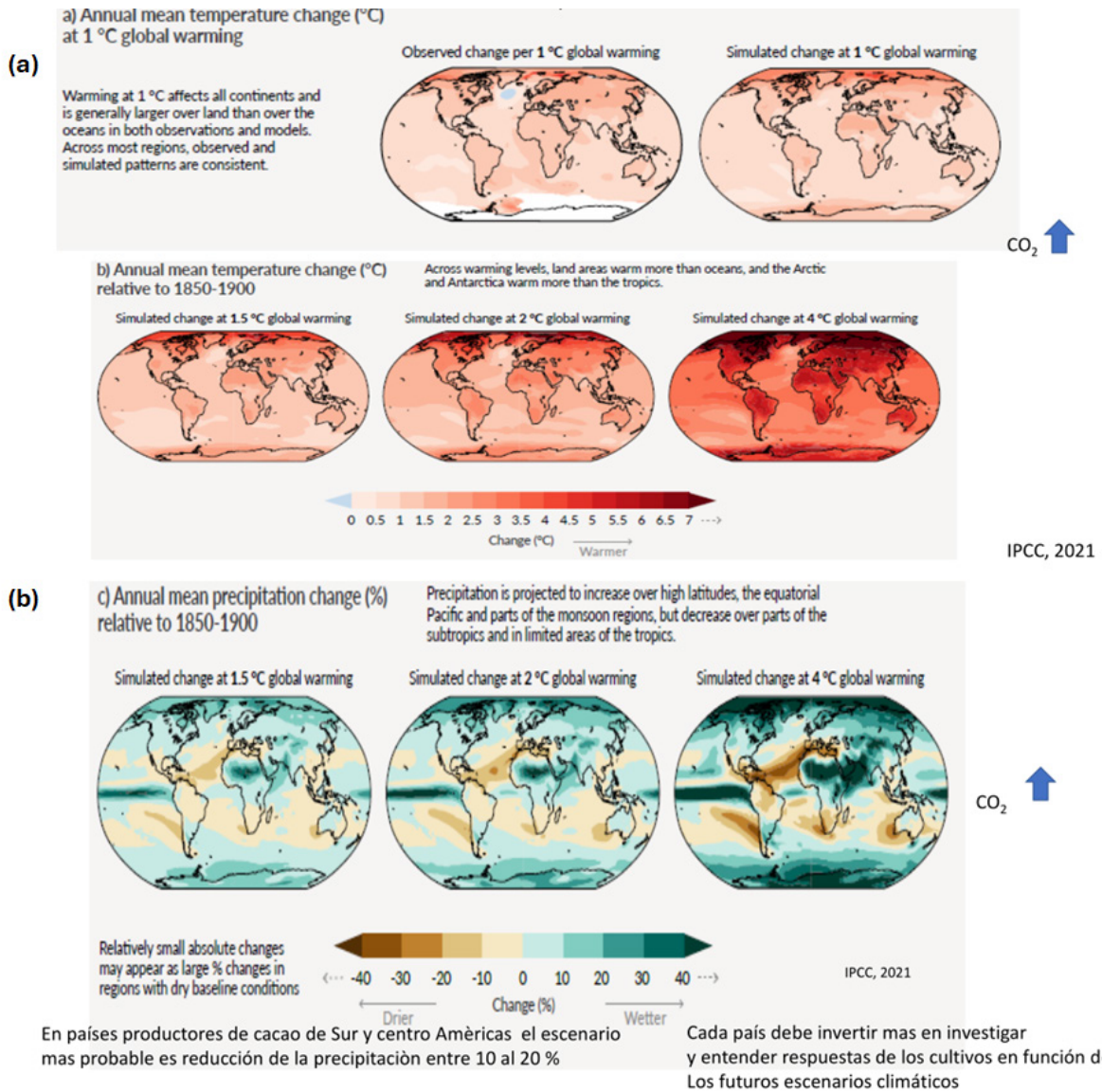


Figura 59. Cambios en los promedios de temperatura (a) y precipitación (b) proyectados por el IPCC.

- En particular, se espera que regiones como América Central y el Caribe experimenten un aumento en las temperaturas y una reducción en las lluvias, lo que agravará los problemas de estrés hídrico ya existentes. En este sentido, la sesión subrayó la importancia de continuar investigando la plasticidad ecofisiológica del cacao y de identificar variedades que puedan tolerar mejor las condiciones climáticas cambiantes.
- También se destacó la necesidad de implementar estrategias de manejo que mejoren la eficiencia en el uso del agua, como la captación de agua de lluvia, el riego eficiente y la integración de especies vegetales que ayuden a mantener la humedad del suelo.

Conclusiones y reflexiones finales

La plasticidad ecofisiológica del cacao es un atributo clave que permite a la planta adaptarse a condiciones ambientales cambiantes, como la radiación solar y el déficit hídrico. Los estudios demuestran que el manejo adecuado de la luz y el agua es fundamental para maximizar la productividad del cacao, especialmente en el contexto de sistemas agroforestales.

El cacao es particularmente sensible a los cambios en las condiciones climáticas, y los escenarios futuros de cambio climático exigen una mayor investigación sobre las variedades de cacao que pueden adaptarse a estas nuevas condiciones. La integración de conocimientos ecofisiológicos en los programas de manejo y mejoramiento genético será esencial para asegurar la sostenibilidad de la producción de cacao a largo plazo. Este enfoque permitirá a los productores implementar prácticas que mejoren la eficiencia del uso de recursos y aumenten la resiliencia de sus cultivos frente a los desafíos climáticos, todo ello mientras optimiza la producción y calidad del cacao.

Preguntas de evaluación

1	No más del 10% de las flores producidas en las plantas de cacao son polinizadas naturalmente. <input type="checkbox"/> Verdadero <input type="checkbox"/> Falso
2	Un único genotipo puede producir distintos fenotipos en distintos entornos. Esta propiedad fundamental de los organismos se conoce como plasticidad fenotípica. <input type="checkbox"/> Verdadero <input type="checkbox"/> Falso
3	Más luz es más productividad. <input type="checkbox"/> Verdadero <input type="checkbox"/> Falso
4	A mayor cantidad de sombra disminuye la capacidad de captura de carbono de las plantas de cacao. <input type="checkbox"/> Verdadero <input type="checkbox"/> Falso
5	Cada especie de cacao hace fotosíntesis de manera diferente bajo mismos niveles de sombra en un SAF. <input type="checkbox"/> Verdadero <input type="checkbox"/> Falso

Literatura citada y relacionada con el tema

- Acheampong, P. P., Owusu, V., & Nurah, G. K. (2013). Farmers Preferences for Cassava Variety Traits: Empirical Evidence from Ghana.
- Arévalo-Hernández, C. O., Arévalo-Gardini, E., Barraza, F., Farfán, A., He, Z., & Baligar, V. C. (2021). Growth and nutritional responses of wild and domesticated cacao genotypes to soil Cd stress. *Science of The Total Environment*, 763, 144021. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.144021>
- Gama-Rodrigues, A. C., Müller, M. W., Gama-Rodrigues, E. F., & Mendes, F. A. T. (2021). Cacao-based agroforestry systems in the Atlantic Forest and Amazon Biomes: An ecoregional analysis of land use. *Agricultural Systems*, 194, 103270. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2021.103270>
- Gama-Rodrigues, A., & Willy, M. (2012). Sistemas Agroflorestais com Cacaueiro (pp. 1-21).
- Jaimez, R. E., Araque, O., Guzman, D., Mora, A., Espinoza, W., & Tezara, W. (2013). Agroforestry systems of timber species and cacao: survival and growth during the early stages. *Journal of Agriculture and Rural Development in the Tropics and Subtropics (JARTS)*, 114(1), 1-11.
- Jaimez, R. E., Barragan, L., Fernández-Niño, M., Larreal B, O. J., & Flores, B. (2024). Pod Production Dynamics and Pod Size Distribution of Theobroma cacao L. Clone CCN 51 in Full Sunlight. *International Journal of Agronomy*, 2024(1), 4242270. <https://doi.org/10.1155/2024/4242270>
- Jaimez, R. E., Barragan, L., Fernández-Niño, M., Wessjohann, L. A., Cedeño-García, G., Cantos, I. S., & Arteaga, F. (2022). Theobroma cacao L. cultivar CCN 51: A comprehensive review on origin, genetics, sensory properties, production dynamics, and physiological aspects. *PeerJ*, 10, e12676. <https://doi.org/10.7717/peerj.12676>
- Jaimez, R. E., Peña, G., Barragán, L., Chica, E., Arteaga, F., & Cedeño, G. (2023). The effect of water deficit on leaf stomatal conductance, water relations, chlorophyll fluorescence and growth of rootstock-scion combinations of cacao. *Scientia Horticulturae*, 321, 112335. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2023.112335>
- Machado Cuellar, L., Ordoñez Espinosa, C. M., Angel Sánchez, Y. K., Guaca Cruz, L., & Suárez Salazar, J. C. (2018). Organoleptic quality assessment of Theobroma cacao L. in cocoa farms in northern Huila, Colombia. *Acta Agronómica*, 67(1), 46-52.
- Matamoros, R., & Moreno, M. (2001). La plasticidad las plantas. *Revista Elementos ciencia y cultura*, 39-43. <https://www.redalyc.org/pdf/294/29404105.pdf>

Fertilidad y balance de nutrientes en cacao y café

Rolando Cerda, Ph.D.
rcerda@catie.ac.cr

Síntesis de la sesión

La temática presentada en esta sesión proporciona un análisis detallado sobre la importancia de la fertilidad del suelo y el equilibrio de nutrientes para optimizar el rendimiento de los cultivos de café y cacao bajo sistemas agroforestales. Se destaca la pregunta fundamental sobre ¿qué es más crucial para el éxito de cultivos perennes como el café y el cacao: la sombra o la fertilidad del suelo? La discusión se centra en los nutrientes esenciales como el nitrógeno, fósforo, potasio y calcio, y su papel en el crecimiento y la producción de las plantas.

Se examina cómo la acidez del suelo puede limitar la disponibilidad de nutrientes, afectando tanto macro como micronutrientes. El documento enfatiza la importancia del diagnóstico foliar para identificar deficiencias nutricionales cuando la fertilidad del suelo es baja. Se presentan síntomas visuales de deficiencias de nutrientes específicos, como nitrógeno, potasio, fósforo y otros, destacando cómo estas deficiencias impactan la tolerancia de las plantas a condiciones adversas.

Además, se proporcionan directrices sobre los rangos deseables de fertilidad del suelo y los requerimientos de nutrientes en diferentes etapas de desarrollo del cacao. Los datos detallan las cantidades específicas de nutrientes necesarios para las etapas de

establecimiento, inicio de producción y plena producción del cacao. Estos requerimientos son fundamentales para mantener un balance adecuado de nutrientes en el suelo y asegurar un crecimiento óptimo.

La sesión también introduce el concepto de balance de nutrientes en sistemas agroforestales, destacando la importancia de equilibrar las entradas y salidas de nutrientes. Se describen ejemplos de cálculos para determinar las cantidades necesarias de fertilizantes para nivelar y mantener un balance saludable de nutrientes. Esto incluye el uso de fertilizantes comunes como el 15-15-15 y el sulfato de potasio, junto con estrategias para ajustar las aplicaciones según los análisis de suelo.

Para cerrar la sesión, se concluye con recomendaciones sobre cómo mantener un balance adecuado de nutrientes a lo largo del tiempo, sugiriendo la realización de análisis de suelos cada dos años. Este enfoque sistemático es clave para garantizar la sostenibilidad de la producción de cacao y café en un contexto de agroforestería, permitiendo a los productores adaptarse a las condiciones cambiantes y optimizar el rendimiento de sus cultivos.

Objetivo de la sesión

- El objetivo principal de esta sesión fue proporcionar un marco conceptual y práctico para entender y gestionar el balance de nutrientes en sistemas agroforestales de café y cacao. Esto incluye la identificación de los nutrientes clave necesarios en cada etapa de desarrollo del cultivo, cómo evaluar la fertilidad del suelo y cómo ajustar las aplicaciones de fertilizantes y otros insumos (como la cal) para corregir deficiencias y mantener la producción sostenible a largo plazo. La sesión también buscó mostrar cómo los sistemas agroforestales, que incluyen árboles leguminosos y otros componentes, pueden ayudar a mejorar la fertilidad del suelo a través del reciclaje de nutrientes.

Puntos clave abordados en la sesión

Importancia de la fertilidad del suelo sobre la sombra

- Se discutió que en los sistemas agroforestales, donde el café y el cacao se cultivan bajo sombra, la fertilidad del suelo es un factor más determinante que la cantidad de sombra para lograr buenos rendimientos.
- Aunque la sombra puede crear condiciones microclimáticas más favorables, como la regulación de la temperatura y la reducción de la evaporación, si el suelo es pobre en nutrientes, la sombra por sí sola no será suficiente para aumentar el rendimiento.

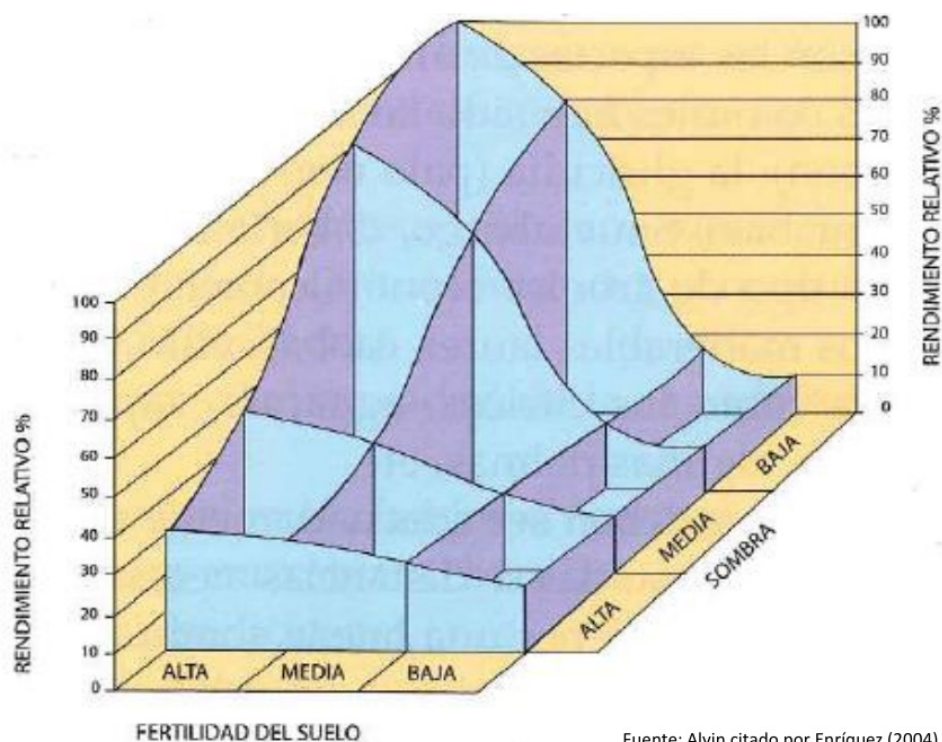


Figura 60. Efecto de diferentes niveles de sombra y fertilidad de suelo sobre el rendimiento del cultivo.

- El gráfico presentado mostró cómo los niveles altos de fertilidad del suelo permiten que los cultivos expresen todo su potencial productivo, incluso con diferentes niveles de sombra. En cambio, cuando la fertilidad es baja, no importa cuánta sombra haya, el rendimiento del cultivo será limitado. Además, se enfatizó que los árboles leguminosos en los sistemas agroforestales pueden contribuir a mejorar la fertilidad del suelo a través de la fijación biológica de nitrógeno. Sin embargo, en suelos pobres, la aplicación de fertilizantes, ya sean orgánicos o químicos, es necesaria para asegurar que los cultivos reciban los nutrientes esenciales.

Requerimientos de nutrientes en diferentes fases del cultivo

- Se presentaron los requerimientos específicos de nutrientes para el café y el cacao en sus diferentes fases de desarrollo: establecimiento, inicio de producción y plena producción. Durante la etapa de establecimiento (los primeros dos años), las plantas requieren menos nitrógeno y potasio que en las fases más avanzadas.
- Sin embargo, a partir del tercer año, cuando las plantas comienzan a producir, la demanda de estos nutrientes aumenta significativamente. En plena producción (a partir del quinto año), el cacao necesita aproximadamente 400 kg de nitrógeno por hectárea y 450 kg de potasio por hectárea. Estos nutrientes son fundamentales para el desarrollo radicular, la floración, la fecundación y el crecimiento de los frutos. Se explicó que estos requerimientos pueden variar dependiendo de las condiciones del suelo y el objetivo productivo.
- Por ejemplo, para alcanzar rendimientos de más de 1000 kg de cacao por hectárea, es probable que se necesite una mayor cantidad de potasio. Además, se sugirió que los productores deben ajustar las dosis de fertilizantes de acuerdo con los análisis de suelos para evitar la sobreaplicación o subaplicación de nutrientes.

Estado	Edad (meses)	Requerimiento nutricional (kg/ha)						
		N	P	K	Ca	Mg	Mn	Zn
Vivero	5-12	2.4	0.6	2.4	2.3	1.1	0.04	0.01
Establecimiento	28	135	14	156	113	47	3.9	0.5
Inicio producción	39	212	23	321	140	71	7.1	0.9
Plena producción	50-90	438	48	633	373	129	6.1	1.5

Figura 61. Requerimientos de nutrientes en diferentes estados de desarrollo de cacaotales.

Impacto de la acidez del suelo en la disponibilidad de nutrientes

- La acidez del suelo afecta la disponibilidad de nutrientes esenciales, especialmente los macronutrientes como el nitrógeno, fósforo y potasio. A medida que el pH del suelo desciende por debajo de 6, estos nutrientes se vuelven menos disponibles para las plantas.
- El fósforo, en particular, es uno de los nutrientes más afectados por la acidez, ya que se fija en el suelo y no puede ser absorbido fácilmente por las raíces cuando el pH es bajo. De manera similar, el potasio y el nitrógeno también experimentan una disminución en su disponibilidad en suelos ácidos.
- Se subrayó la importancia de corregir la acidez del suelo antes de aplicar fertilizantes. Si no se corrige la acidez, los fertilizantes aplicados no serán eficaces, lo que resultará en una pérdida económica y un bajo rendimiento del cultivo. Para esto, se recomienda realizar un análisis regular del suelo y aplicar cal en caso de que los niveles de pH sean bajos. La aplicación de cal ayuda a neutralizar la acidez, permitiendo que los nutrientes estén disponibles para las plantas.

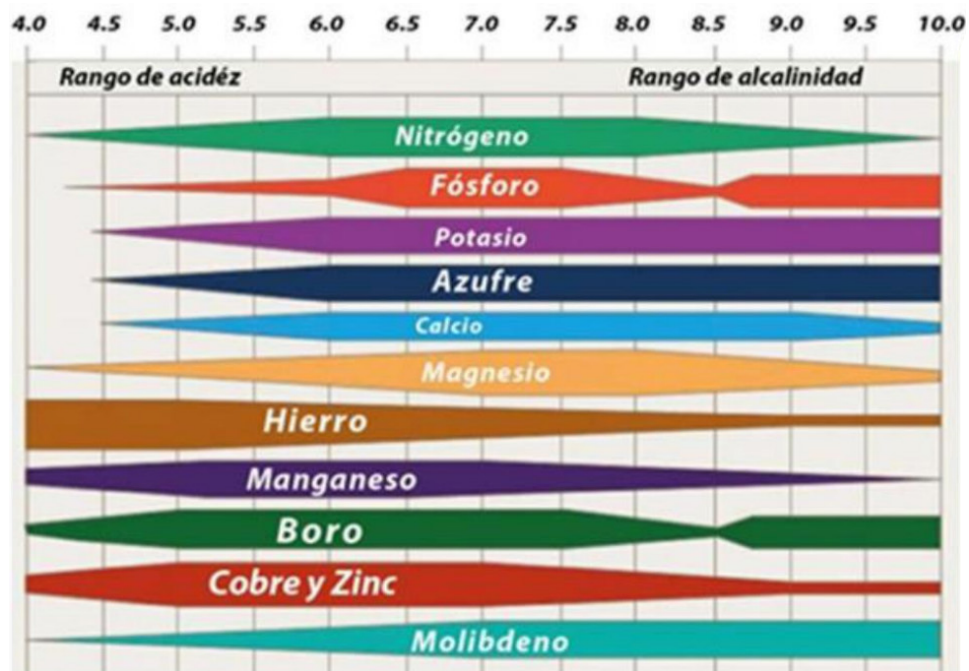


Figura 62. Disponibilidad de nutrientes de acuerdo con el pH.

Cálculo de dosis de cal para corregir la acidez

- Una parte fundamental de la gestión de la fertilidad del suelo es corregir la acidez con la aplicación de cal. Se explicó cómo calcular la cantidad necesaria de cal en función de la acidez del suelo (expresada en cmol/kg) y el pH.
- En suelos muy ácidos, con un pH de 4.7, por ejemplo, se pueden necesitar hasta 3 toneladas de cal por hectárea para elevar el pH a niveles óptimos para el crecimiento de café y cacao. Se recomendó aplicar la cal al menos un mes antes de cualquier fertilización, permitiendo que tenga tiempo de reaccionar en el suelo y reducir la acidez, de modo que los fertilizantes puedan ser absorbidos de manera eficiente.

Capacidad de intercambio catiónico (CICE)

$$\text{CICE} = \text{Ca} + \text{Mg} + \text{K} + \text{acidez}$$

% Saturación de acidez (%SA)

$$\% \text{ SA} = (\text{Acidez}/\text{CICE}) * 100$$

El % de saturación deseado (RAS) debe ser 15% (o menor)

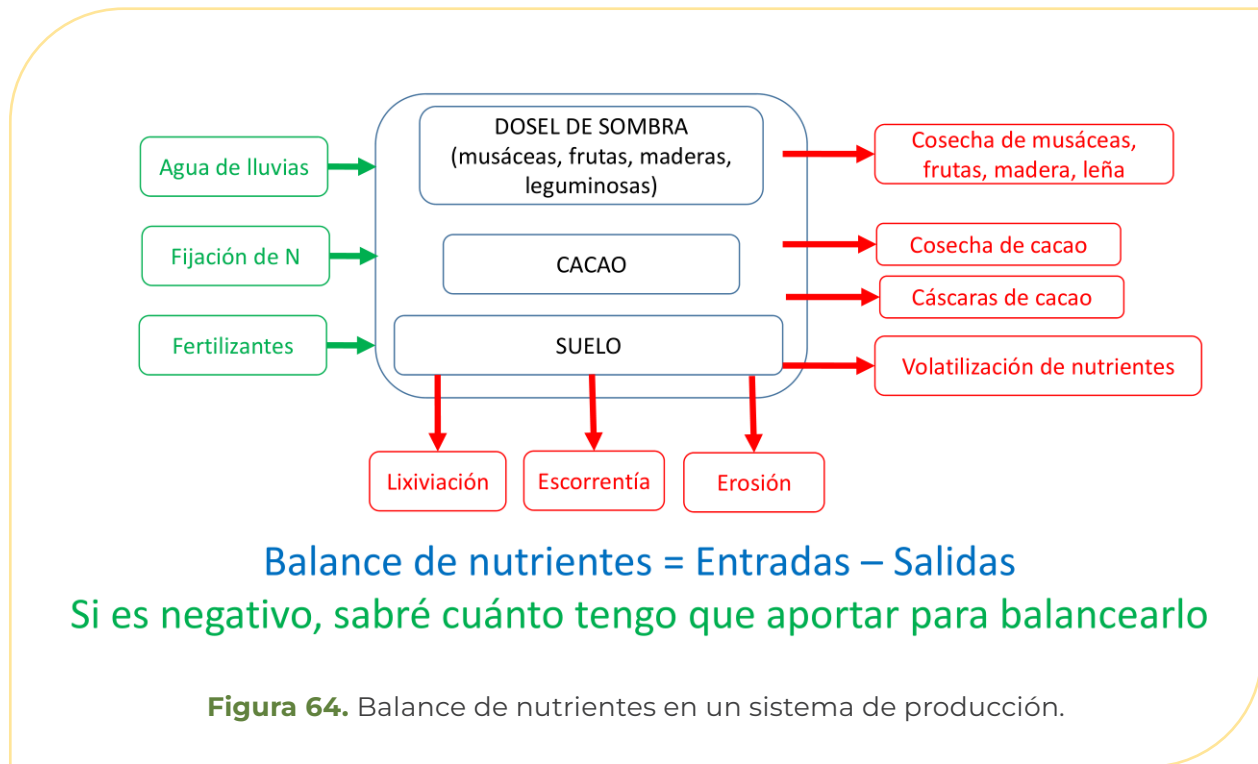
$$\dagger \text{ cal/ ha} = \frac{2 (\% \text{SA} - \% \text{RAS}) \text{ CICE}}{100}$$

Figura 63. Cálculo de dosis de cal a partir de datos de acidez de suelo y CICE.

- El uso de cal es particularmente importante en suelos tropicales, donde la acidez es un problema común debido a la lixiviación de nutrientes por la alta pluviosidad. Aunque la cal es relativamente económica en comparación con otros insumos, su aplicación es esencial para asegurar la salud del suelo a largo plazo.

Balance de nutrientes en sistemas agroforestales

- El concepto de balance de nutrientes se refiere a la diferencia entre las entradas (fertilizantes, abonos orgánicos, fijación de nitrógeno por leguminosas, lluvia) y las salidas (cosecha, erosión, lixiviación, volatilización).
- La sesión destacó que primero es importante nivelar las existencias de nutrientes hasta cumplir con los requerimientos del cultivo, y luego completar lo necesario para mantener un buen balance.



- En un sistema agroforestal, las entradas pueden ser más diversificadas, ya que los árboles leguminosos pueden fijar nitrógeno del aire y la hojarasca de los árboles de sombra puede devolver nutrientes al suelo a través de la descomposición. Sin embargo, también se deben considerar las salidas adicionales, como la extracción de nutrientes a través de la cosecha de productos secundarios como frutas, leña o madera.
- Se enfatizó la importancia de calcular el balance de nutrientes de manera regular para evitar la degradación del suelo. Si el balance es negativo, es decir, si las salidas superan las entradas, se deben aplicar nutrientes adicionales para mantener la fertilidad del suelo. Si el balance es positivo, no es necesario aplicar más fertilizantes de lo requerido, lo que puede ahorrar costos y evitar la contaminación del suelo.

Deficiencia de potasio y su impacto en la producción

- Uno de los nutrientes más importantes para el cultivo de cacao es el potasio (K), ya que es crucial para la floración, fecundación y el desarrollo de los frutos. Sin embargo, en muchos sistemas de producción, especialmente en los de pequeños productores, la deficiencia de potasio es un problema recurrente.
- Esto se debe a que el potasio se lixivia fácilmente en suelos tropicales, y a menudo no se repone en cantidades suficientes. La falta de potasio puede limitar gravemente la producción de cacao, reduciendo el número y tamaño de las mazorcas y afectando la calidad del grano.
- Se mostraron ejemplos de análisis de balance de nutrientes en los que el potasio fue el nutriente más deficiente, superando incluso la deficiencia de nitrógeno y fósforo. Por lo tanto, es fundamental que los productores presten especial atención a este macronutriente y ajusten las dosis de fertilización de acuerdo con los requerimientos del cultivo y los análisis de suelo.

Conclusiones y reflexiones finales

La gestión adecuada del balance de nutrientes es esencial para la producción sostenible de café y cacao en sistemas agroforestales. Aunque la sombra juega un papel importante en la creación de un microclima favorable, es la fertilidad del suelo lo que determina el éxito productivo a largo plazo. Corregir la acidez del suelo, aplicar las dosis adecuadas de fertilizantes y abonos, y calcular cuidadosamente el balance de nutrientes son pasos esenciales para asegurar que los cultivos reciban los nutrientes necesarios para su desarrollo.

El caso del potasio destaca la importancia de prestar atención a todos los nutrientes esenciales, no solo al nitrógeno y fósforo. Los productores deben tomar decisiones informadas basadas en análisis de suelos regulares y ajustar sus prácticas de manejo de acuerdo con las necesidades específicas de su cultivo y suelos.

Se reflexiona entre los participantes que si bien, los sistemas agroforestales ofrecen una ventaja al proporcionar un reciclaje natural de nutrientes, también requieren un monitoreo constante para asegurar que las salidas de nutrientes no superen las entradas.

Preguntas de evaluación

1	Los elementos cuya disponibilidad es más limitada por la acidez del suelo, son los macroelementos (N, P, K). <input type="checkbox"/> Verdadero <input type="checkbox"/> Falso
2	Aparte de los análisis de suelos, el diagnóstico foliar (visual) es una herramienta para identificar deficiencia de algún elemento. <input type="checkbox"/> Verdadero <input type="checkbox"/> Falso
3	Para el establecimiento de cacaotales necesitamos al menos los siguientes requerimientos: 135kg/ha de N, 14kg/ha de P y 156kg/ha de K. <input type="checkbox"/> Verdadero <input type="checkbox"/> Falso
4	La cosecha de frutas no se considera una salida de nutrientes del sistema de producción. <input type="checkbox"/> Verdadero <input type="checkbox"/> Falso
5	La profundidad de muestreo para análisis de suelo es 30 cm. <input type="checkbox"/> Verdadero <input type="checkbox"/> Falso

Literatura citada y relacionada con el tema

- Blaser-Hart, W., Oppong, J., Yeboah, E., & Six, J. (2017). Shade trees have limited benefits for soil fertility in cocoa agroforests. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 243, 83-91. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.04.007>
- González, G. (2020). *Evaluación del balance de nutrientes en cacaotales clonales y cacaotales tradicionales, en las provincias Hermanas Mirabal y Duarte, República Dominicana*. <https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/11647>
- Mera, M. K., Ramirez, R., & Leiva, E. I. (2017). Importancia de la hojarasca en el cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.). *International Symposiumu Cocoa Research (ISCR)*, (11, 2017, Lima, Perú). Lima, Perú. <https://www.icco.org/wp-content/uploads/2019/07/T2.213.IMPORTANCIA-DE-LA-HOJARASCA-EN-EL-CULTIVO-DE-CACAO-THEOBROMA-CACAO-L.-1.pdf>
- Molina, J. R., Cabralez, L. O., Pachajoa, L. E., Buitrago, M. R., & Suarez, Y. J. (2021). Producción de hojarasca y su aporte de nutrientes en cacao bajo diferentes esquemas de fertilización, Rionegro-Santander. *Agronomía Costarricense*, 193-206. <https://doi.org/10.15517/rac.v45i1.45790>
- Rojas-Molina, J., Ortiz-Cabralez, L., Escobar-Pachajoa, L. D., Rojas-Buitrago, M., & Jaimes-Suarez, Y. Y. (2021). Descomposición y liberación de nutrientes en biomasa por poda de cacao (*Theobroma cacao* L.) en Rionegro, Santander, Colombia. *Agronomía Mesoamericana*, 888-900. <https://doi.org/10.15517/am.v32i3.41608>
- Sadeghian K., S., & González O., H. (2012). Alternativas generales de fertilización para cafetales en la etapa de producción. <https://biblioteca.cenicafe.org/handle/10778/1107>
- Villegas Cáceres, R. P. (2008). *Descomposición de las hojas del cacao y de seis especies arbóreas, solas y en mezcla en Alto Beni, Bolivia*. <https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/4724>

Estrategia para la prevención y mitigación de riesgos

Enelvi Brito Sosa, M.Sc.
ebrito@ipl.edu.do

Síntesis de la sesión

Con 171,875 ha cultivadas, el cacao no solo representa un subsector importante en la economía de la República Dominicana, sino también para la conservación ambiental, ya que protege la cobertura forestal y las fuentes de agua. El sector cacaotero dominicano, distribuido en diversas regiones, proporciona empleo a 350,000 personas. Sin embargo, enfrenta desafíos como el envejecimiento de las plantaciones y la dependencia de mano de obra extranjera. La mayoría de las fincas son pequeñas, lo que limita su productividad y capacidad de inversión.

El comportamiento de la producción y exportación ha sido variable, con años de alto rendimiento y otros de disminución. Esta fluctuación afecta las divisas generadas y refleja la necesidad de estrategias más estables y sostenibles para asegurar un crecimiento constante. Aquí es donde la colaboración entre el gobierno y las exportadoras se vuelve fundamental. Se han implementado programas de acompañamiento técnico, producción de plantas de alto valor genético y mejoras en la infraestructura de manejo postcosecha. Estos esfuerzos buscan mejorar la calidad y sostenibilidad del cacao dominicano en el mercado internacional.

Entre los desafíos futuros, el sector debe enfrentar la moniliasis del cacao. Se ha desarrollado un plan de emergencia fitosanitaria para prevenir su entrada, con medidas como la vigilancia en puertos y la capacitación de productores. El riesgo de la moniliasis no solo amenaza la producción, sino que también podría tener un impacto socioeconómico significativo. Para contrarrestar estos desafíos, se están ejecutando varios proyectos para mejorar la producción, como el uso de germoplasma mejorado y prácticas de agricultura climáticamente inteligente. También se fomenta la competitividad a través de la capacitación en buenas prácticas agrícolas y de manejo postcosecha.

La presentación destaca el potencial impacto socioeconómico de una posible entrada de la moniliasis. Se proyectan pérdidas significativas en producción, empleos y divisas si no se implementan medidas efectivas de prevención y control. La estrategia presentada enfatiza la necesidad de una respuesta coordinada y proactiva para enfrentar los desafíos del sector cacaotero. La combinación de investigación científica, capacitación continua y colaboración internacional es clave para asegurar un futuro sostenible y próspero para el cacao en la República Dominicana.

Objetivo de la sesión

- El objetivo central de la sesión fue presentar la estrategia nacional de República Dominicana para la prevención y mitigación de los riesgos que afectan al subsector cacaotero, especialmente en relación con la moniliasis. Se abordaron tanto las acciones preventivas que se deben tomar para evitar la entrada de esta enfermedad al país como los planes de contingencia en caso de su aparición. Además, se detalló el plan binacional con Haití, diseñado para fortalecer las capacidades de ambos países en la lucha contra la moniliasis mediante acciones conjuntas y medidas preventivas en las zonas vulnerables. Este esfuerzo busca proteger la producción de cacao en la isla, salvaguardando la economía y los empleos del sector cacaotero dominicano.

Puntos clave abordados en la sesión

Distribución y contexto del sector cacaotero en República Dominicana

- Se expuso que en República Dominicana existen 171,875 ha dedicadas a la producción de cacao, distribuidas en siete regiones productoras. Estas áreas abarcan 21 de las 31 provincias del país, involucrando a 42,751 productores.



Figura 65. Mapa cacaotero de República Dominicana.

- Un aspecto importante es que el 85% de las fincas tienen menos de 3 ha, mientras que solo el 3.2% de las plantaciones superan las 20 ha, lo que evidencia el carácter minifundista del sector. Asimismo, el 8% de la cobertura forestal nacional es protegida gracias a las plantaciones de cacao, contribuyendo al mantenimiento de fuentes hídricas que incluyen más de 43 ríos y arroyos.
- Además, la producción de cacao en el país ha generado importantes ingresos económicos. Durante los últimos 13 años, la producción acumulada alcanzó las 934,993 toneladas métricas, generando 2,544 millones de dólares en divisas. Sin embargo, uno de los principales desafíos es que prácticamente todo el cacao producido en el país se exporta, lo que deja un consumo interno reducido a menos del 5%.

Estrategia de prevención contra la moniliasis

La sesión presentó el plan de respuesta de emergencia fitosanitaria contra la moniliasis, una enfermedad causada por el hongo *Moniliophthora roreri*, que afecta severamente la producción de cacao. El plan propone varias medidas estructuradas para prevenir la entrada de la enfermedad en República Dominicana o, en caso de que se presente, contenerla y erradicarla. Las acciones preventivas incluyen:

1. Acondicionamiento preventivo de las plantaciones, apoyado por el gobierno central y casas exportadoras.
2. Vigilancia en puertos, aeropuertos y puestos fronterizos a cargo del Departamento de Sanidad Vegetal, que supervisa la entrada de personas y productos desde países donde la moniliasis ya está presente.
3. Información pública mediante comunicados de prensa, folletos y segmentos en radio y televisión para alertar a la población sobre los riesgos de la enfermedad.
4. Además, se mencionó la importancia de capacitar a los técnicos y productores para identificar los primeros signos de la moniliasis y responder rápidamente ante un posible brote.



Figura 66. Plan de repuesta de emergencia fitosanitaria a la introducción de moniliasis del cacao en República Dominicana.

Colaboración entre sectores público y privado

- Se destacó que la Comisión Nacional de Cacao integra a exportadores, transformadores, productores asociados y productores independientes. Esta colaboración permite unir esfuerzos entre el Ministerio de Agricultura y las casas exportadoras para fortalecer las políticas de producción cacaotera. El Departamento de Cacao, como brazo operativo del Ministerio, es el encargado de implementar las políticas y brindar apoyo técnico a los productores.
- El sector privado juega un papel clave en la mejora de la infraestructura de manejo postcosecha, lo cual ha permitido que el cacao dominicano tenga una ventaja comparativa a nivel mundial. Las casas exportadoras también colaboran con técnicos que brindan asistencia a los productores en temas como certificaciones y buenas prácticas de producción.

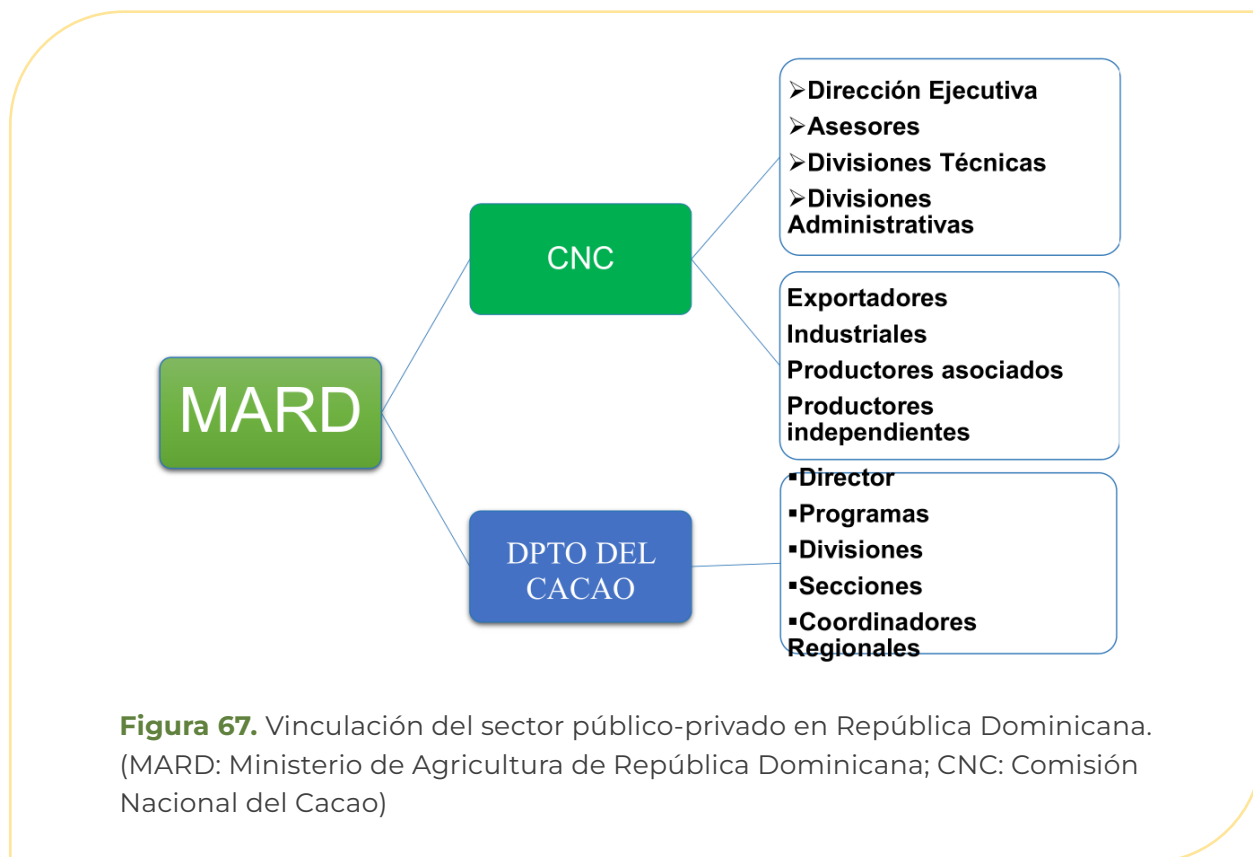


Figura 67. Vinculación del sector público-privado en República Dominicana. (MARD: Ministerio de Agricultura de República Dominicana; CNC: Comisión Nacional del Cacao)

Medidas específicas de prevención contra la moniliasis

- Las medidas preventivas incluyen la capacitación continua de los técnicos y productores en técnicas de manejo de la enfermedad y la realización de simulacros de campo para preparar a las autoridades en caso de que se detecte la enfermedad. Estas medidas incluyen:
 - Monitoreo regular de las plantaciones para identificar posibles brotes.
 - Acondicionamiento preventivo de las plantaciones, que incluye mejoras en el material genético y en la infraestructura de manejo de las fincas.
 - Planes de vigilancia fitosanitaria en puntos de entrada clave, como puertos y aeropuertos, para evitar la entrada de la enfermedad desde países vecinos.
 - Acciones de concienciación pública, con la distribución de material informativo y la implementación de campañas para que los productores y técnicos reconozcan los síntomas de la enfermedad de manera temprana.

- En caso de que la moniliasis se detecte en el país, se establecieron protocolos claros de respuesta que incluyen la inmovilización de cosechas, la erradicación de plantaciones afectadas, y la implementación de medidas cautelares para evitar su propagación.

Impacto socioeconómico de una posible entrada de la moniliasis

- Se presentó un análisis sobre el impacto socioeconómico que tendría la entrada de la moniliasis en la República Dominicana. Este análisis incluyó un índice de vulnerabilidad regional, que mostró que las regiones Norte y Este son las más vulnerables debido a sus condiciones climáticas favorables para la enfermedad, el uso de germoplasma susceptible y un manejo deficiente de las plantaciones (Brito, 2021).
- Además, se explicó que en ausencia de control, la infección podría afectar al 60% de las mazorcas en el primer año, y alcanzar el 100% en los años siguientes. El impacto económico sería significativo: bajo un escenario pesimista, las pérdidas para el sector primario podrían superar los 184 millones de dólares en el quinto año, con una reducción del 63% en la productividad. Las pérdidas en divisas alcanzarían los 277 millones de dólares y se perderían más de 500 mil empleos.

Métricas	Nordeste	Este	Central	Norte	Norcentral
Índice Entorno (rango 0.33-1,00)	0.44	0.5	0.61	0.67	0.56
Índice Manejo de finca (rango 0.33-1,00)	0.78	0.78	0.72	0.67	0.67
Índice Germoplasma (rango 0.33-1,00)	0.44	0.78	0.56	0.78	0.67
Índice Punto de Entrada al País (rango 0.33-1,00)	0.56	0.56	0.56	0.56	0.33
Índice Clima (rango 0.33-1,00)	0.67	0.83	0.58	0.83	0.75
Índice global de vulnerabilidad (rango 0.33-1,00)	0.58	0.69	0.61	0.7	0.6

Figura 68. Índice de Vulnerabilidad Global por Regional (Brito, 2021).

Indicador socioeconómico	Esc	Año 2021	Año 2026	Año 2031
Pérdidas sector primario, en US\$ millones	1	0.0	12.4	111.0
	2	0.3	51.1	159.3
	3	1.1	101.5	184.7
Pérdidas en lo que participan en el manejo y procesamiento del grano, millones US\$	1	0.0	7.3	65.5
	2	0.2	30.2	94.1
	3	0.6	59.9	109.1
Pérdidas en divisas, millones US\$	1	0.1	18.6	167.0
	2	0.4	76.9	239.8
	3	1.6	152.7	277.9
Pérdidas en empleos, en miles	1	0.1	34.5	309.1
	2	0.8	142.3	443.8
	3	2.9	282.6	514.4
Pérdidas en la economía nacional*	1	0.1	29.5	264.7
	2	0.7	121.9	380.2
	3	2.6	242.1	440.6

Figura 69. Impacto socioeconómico ocasionado por la moniliasis bajo tres escenarios en República Dominicana.

- El estudio también destacó la importancia de generar evidencia científica para promover la adopción de prácticas tecnológicas más costo-efectivas que permitan al sector cacaotero ser más resiliente ante la amenaza de la moniliasis.

Conclusiones y reflexiones finales

La sesión subraya la importancia de una estrategia proactiva y binacional para enfrentar la amenaza de la moniliasis, una enfermedad que podría tener consecuencias devastadoras para el sector cacaotero de la República Dominicana. La estrategia planteada por el Ministerio de Agricultura, en colaboración con el sector privado, busca implementar acciones preventivas para evitar la entrada de la enfermedad y desarrollar capacidad de respuesta rápida en caso de que se presente un brote. Las medidas propuestas, como la capacitación de técnicos y la coordinación entre organismos públicos y privados, son esenciales para proteger una de las principales fuentes de empleo y divisas en el país.

Por otro lado, los desafíos relacionados con la avanzada edad de las plantaciones y la baja participación de las mujeres en la producción resaltan la necesidad de continuar con esfuerzos dirigidos a la renovación de las plantaciones y a la inclusión de grupos subrepresentados. Finalmente, la colaboración con Haití es un paso fundamental para fortalecer la resiliencia de la isla ante la amenaza de la moniliasis.

Preguntas de evaluación

1	<p>La elevada edad promedio de los cacaocultores y escasa conexión generacional es un desafío en el sector cacaotero de República Dominicana.</p> <p><input type="checkbox"/> Verdadero</p> <p><input type="checkbox"/> Falso</p>
2	<p>Existen iniciativas binacionales entre Haití y República Dominicana para prevenir el ingreso de la Moniliasis.</p> <p><input type="checkbox"/> Verdadero</p> <p><input type="checkbox"/> Falso</p>
3	<p>Por el efecto retardado de la enfermedad, la Moniliasis en República Dominicana podría generar pérdidas aceleradas a nivel nacional.</p> <p><input type="checkbox"/> Verdadero</p> <p><input type="checkbox"/> Falso</p>
4	<p>El establecimiento de Modelos SAF-CACAO para Parcelas Demostrativas en República Dominicana es un proyecto en curso.</p> <p><input type="checkbox"/> Verdadero</p> <p><input type="checkbox"/> Falso</p>
5	<p>El cultivo del cacao en República Dominicana se da hasta los 1.200 m.s.n.m.</p> <p><input type="checkbox"/> Verdadero</p> <p><input type="checkbox"/> Falso</p>

Literatura citada y relacionada con el tema

- Brito, E. (2021). *Impacto socioeconómico de una entrada potencial de la moniliasis del cacao (Moniliophthora roreri) a República Dominicana* [Tesis MSc., Centro Agronómico Tropical de Agricultura y Enseñanza (CATIE)]. <https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/11541>
- Comisión Nacional de Cacao., y Programa de las Naciones Unidas para El Desarrollo (PNUD). (2017). Plan nacional de desarrollo sostenible del cacao Republica Dominicana 2017 – 2027. <https://info.undp.org/docs/pdc/Documents/DOM/Plan%20de%20Accion%20Nacional%20Desarrollo%20Sostenible%20de%20Cacao%20%20Marzo%202017.pdf>
- Ministerio de Agricultura de la República Dominicana. (2018). Plan de respuesta de emergencia fitosanitaria a la introducción de moniliasis (*Moniliophthora roreri*) del cacao. Autor
- Phillips-Mora, W., Ten-Hoopen, M. (2019). Estrategia binacional para la prevención de la moniliasis del cacao (*Moniliophthora roreri*) en Haití y República Dominicana. <https://www.scribd.com/document/761619277/ESTRATEGIA-BINACIONAL-Prevencion-Moniliaisis-Version-Final-Espanol>

Normativa EU-DR sobre cadenas de suministro libre de deforestación

Luis Orozco Aguilar PhD
luisoroz@catie.ac.cr

Síntesis de la sesión

La normativa EU-DR (Reglamento de la Unión Europea sobre productos libres de deforestación), que entró en vigor en Enero de 2024, busca garantizar que los productos importados por la UE provenientes de cadenas de producción como el cacao, café, soya, palma y otros, no contribuyan a la deforestación global, cumpliendo con estrictos requisitos de trazabilidad y procedencia, lo que obliga a los países exportadores de estos productos a demostrar que el proceso de producción asociado a estos productos son libres de deforestación. Esta normativa responde a la creciente preocupación por la pérdida de bosques y su impacto ambiental, social y económico en los países productores.

En este marco, el enfoque de la sesión fue más allá de la descripción legal de la normativa, concentrándose en cómo los países productores de café y cacao, especialmente de América Latina, están adaptándose a este nuevo marco regulatorio, teniendo en cuenta que ambas actividades tienen una participación clave en las economías de los países de la región, ya que representan un porcentaje significativo de sus exportaciones. La necesidad de cumplir con estas regulaciones exige mejorar la trazabilidad y asegurar que los productos exportados derivados de la producción de café y cacao cumplan con los nuevos estándares.

Se hizo un énfasis en cómo la definición de “bosque” utilizada en la normativa EU-DR, basada en la clasificación de la FAO, no representa de manera adecuada la complejidad ecológica y social de muchos territorios en los países productores. Este punto desencadenó una activa participación por parte de los asistentes, quienes cuestionaron si esta definición incluía los servicios ecosistémicos culturales y sociales que ofrecen los bosques a las comunidades locales.

En la sesión también se discutió el concepto de “deforestación” y “degradación forestal” utilizados por la normativa, y cómo su aplicación podría afectar negativamente a los productores que han realizado cambios de uso del suelo en circunstancias justificadas, como la reforestación de áreas afectadas por plagas. Se destacan los retos estructurales del sector, como la implementación de soluciones de trazabilidad y cumplimiento con la normativa EUDR. Herramientas como el Observatorio Forestal de la UE y Global Forest Watch son esenciales para monitorear la deforestación y la degradación forestal, ayudando a evaluar el riesgo país y asegurar el cumplimiento normativo.

Se finalizó con un ejercicio de exploración de herramientas de monitoreo como el Observatorio Forestal de la UE y Global Forest Watch para apoyar la implementación de los sistemas de trazabilidad y garantizar que los productos cumplan con los requisitos de la normativa.

Objetivo de la sesión

- El objetivo central de la sesión fue proporcionar una visión actualizada y comprensiva sobre los preparativos que están realizando los países productores para cumplir con la normativa EU-DR. Se buscaba ofrecer a los participantes una comprensión clara de los desafíos operativos y estructurales que enfrenta los cultivos de café y cacao en la región, al adaptarse a esta nueva regulación europea. Además, se pretendía generar una discusión sobre los sistemas de clasificación de riesgo país y su implicación en las exportaciones de productos agrícolas a la Unión Europea.

Puntos clave abordados en la sesión

Definición de bosque y deforestación

- El marco legal de la normativa EU-DR utiliza la definición de bosque de la FAO, la cual considera como bosque a tierras que se extienden por más de 0.5 ha con árboles de una altura mayor a 5 metros y una cubierta de dosel superior al 10%. Sin embargo, esta definición ha sido cuestionada por su falta de consideración de aspectos culturales y ecológicos locales, como la presencia de comunidades indígenas que viven en estos bosques.
- Durante la sesión, varios participantes expresaron su desacuerdo con la definición de bosque utilizada en la normativa. Uno de los asistentes destacó que la definición no incluye elementos culturales y sociales que son parte integral de los ecosistemas boscosos, como el conocimiento medicinal tradicional y los servicios ecosistémicos no valorados.
- Además, algunos señalaron que el porcentaje de cobertura del dosel utilizado para definir un bosque (10%) es arbitrario y no refleja la biodiversidad y complejidad de los bosques tropicales. El moderador concordó con estos puntos, señalando que estas limitaciones tendrán implicaciones en la forma en que se evalúa el riesgo de deforestación en los países productores.

Trazabilidad y georreferenciación

- La normativa exige que los productos y sus derivados de y commodities exportados a la Unión Europea cuenten con un sistema de trazabilidad que permita rastrear su origen. Este sistema debe incluir la georreferenciación de las fincas productoras, así como información detallada sobre los proveedores y la situación legal de las tierras. Además, se debe presentar un documento de “debida diligencia” que certifique que los productos provienen de áreas libres de deforestación desde diciembre de 2020.



- Uno de los desafíos más importantes mencionados por los asistentes fue la implementación de estos sistemas de trazabilidad, especialmente para pequeños productores no organizados.
- Se destacó que, en muchos casos, los productores individuales no tienen acceso a la tecnología o los recursos necesarios para cumplir con estos requisitos, lo que los coloca en desventaja frente a grandes cooperativas o productores más estructurados. Un asistente de Honduras preguntó cómo se está manejando este desafío a nivel local, a lo que se respondió que algunas cooperativas están buscando apoyo en plataformas tecnológicas como INAT Trace y Agro Grain Chain para facilitar la recopilación de información en el campo.

Dimensión legal y desafíos operativos y estructurales vinculados a la normativa

- La normativa no solo se enfoca en la prevención de la deforestación, sino también en garantizar que los productos cumplan con las normativas legales del país de origen, incluidas las leyes sobre derechos laborales, impuestos, derechos humanos, y legislación ambiental. El incumplimiento de cualquiera de estas normativas podría impedir la entrada de productos a la Unión Europea.
- La normativa presenta importantes desafíos operativos para los países productores. Aunque exige un sistema robusto de trazabilidad y el cumplimiento de normativas locales, no está completamente claro quién es responsable de asumir los costos de implementar estos sistemas ni cómo se facilitará la coordinación entre los diferentes actores de la cadena de suministro.

 TRAZABILIDAD	El origen del producto ≈ información georreferenciada del lote	Debe figurar en la Declaración de Debida Diligencia
	Datos de proveedores y compradores	
 LIBRE DE DEFORESTACIÓN	Legal e ilegal	Se aplica la definición de bosque de la FAO.
	El producto no proviene de lote deforestado luego del 31/12/2020	
 LEGALIDAD	Cumplimiento de las leyes en origen sobre: uso de la tierra, protección ambiental, normas forestales, derechos laborales, impuestos, anticorrupción, DD.HH. s/leg. internac. y FPIC -consulta y consentimiento libre, previo e informado en pueblos indígenas-.	

Figura 72. Requisitos de la normativa para ingresar al mercado de la UE.

Impacto en los productores y mercados

- La normativa afecta tanto a los productos primarios (granos de cacao y café) como a sus derivados (manteca de cacao, nips, etc.), lo que amplía su alcance. Esto supone un reto adicional para las cooperativas y exportadores, quienes deben garantizar que toda la cadena de producción esté libre de deforestación. Se destacó la situación de los pequeños productores que, al no estar agremiados o formalizados, enfrentan grandes barreras para cumplir con la normativa.

- Se mencionaron algunos ejemplos de países como Brasil, donde ya se está utilizando tecnología satelital para monitorear la trazabilidad de los productos en regiones específicas. Sin embargo, en Centroamérica, muchos productores aún dependen de intermediarios para vender sus productos, lo que complica el seguimiento de la trazabilidad.

Impacto estimado de la normativa en países productores de café de Nicaragua, Guatemala y México

- La normativa EU-DR tendrá un impacto variable en los países productores dependiendo de su nivel de preparación y la importancia de la exportación a la Unión Europea. Durante la sesión se discutieron ejemplos específicos de cómo la normativa afectará a Nicaragua, Guatemala y México. Estos países, todos productores de café y cacao, enfrentan distintos niveles de desafío para cumplir con la normativa.
- 1. Nicaragua:** Según los datos presentados, aproximadamente el 31% del café producido en Nicaragua se exporta al mercado europeo. Esto implica que la entrada en vigor de la normativa tendrá un impacto significativo en el sector cafetalero. Durante la sesión, se mencionó que uno de los principales desafíos que enfrenta el país es la falta de actualización en los mapas de trazabilidad desde 2018, lo que dificulta cumplir con los requisitos de “libre de deforestación”. Además, un asistente nicaragüense señaló que, aunque la mayor parte del café en Matagalpa y Jinotega se cultiva bajo sombra, la falta de información actualizada es un obstáculo que podría clasificar a Nicaragua como un país de “alto riesgo” en términos de deforestación. Esto también podría afectar la confianza de los compradores europeos.
 - 2. Guatemala:** En el caso de Guatemala, la exportación de café al mercado europeo también representa una proporción significativa, y el país tiene un mejor nivel de preparación en comparación con Nicaragua. Se destacó que Guatemala ha avanzado en la implementación de sistemas de trazabilidad, y su sector cafetalero está mejor organizado. Sin embargo, los desafíos persisten en cuanto a la formalización de pequeños productores que no están agremiados ni

cuentan con los recursos tecnológicos necesarios para cumplir con la normativa. Un asistente guatemalteco comentó que la falta de cooperativas en algunas zonas rurales del país sigue siendo una barrera para la trazabilidad, lo que podría aumentar los costos de cumplimiento para exportadores pequeños.

3. México: En México, solo el 19% del café producido se exporta al mercado europeo, lo que reduce ligeramente el impacto de la normativa en comparación con países como Nicaragua o Guatemala. Sin embargo, la fragmentación de las tierras agrícolas, especialmente en zonas indígenas, complica la implementación de sistemas de trazabilidad. Un asistente mexicano mencionó que la falta de un censo cafetalero actualizado desde 2012 ha debilitado la capacidad del país para rastrear la producción de café y verificar que cumple con los estándares de la normativa EU-DR. A pesar de que el país ha avanzado en algunos aspectos, como la libre deforestación en áreas cafetaleras, la falta de datos actualizados y la dispersión de los pequeños productores sigue siendo un desafío.

- Los asistentes coincidieron en que el impacto de la normativa será más severo en países como Nicaragua, donde la falta de datos actualizados y la limitada organización del sector ponen en riesgo el acceso al mercado europeo. En contraste, Guatemala y México están mejor posicionados para cumplir con la normativa, aunque enfrentan desafíos relacionados con la trazabilidad y la formalización de pequeños productores.

Ejercicio práctico de exploración de plataformas de monitoreo forestal y trazabilidad

- Durante la sesión, se llevó a cabo un ejercicio práctico donde los participantes exploraron dos plataformas clave para el monitoreo de la deforestación y la trazabilidad de productos agrícolas: el Observatorio Forestal Global y la Plataforma Global Forest Watch. El objetivo de este ejercicio fue familiarizar a los participantes con herramientas tecnológicas que permiten monitorear la deforestación y asegurar el cumplimiento de los requisitos que la normativa impone, a fin de que los productos agrícolas puedan ser exportados a la Unión Europea.

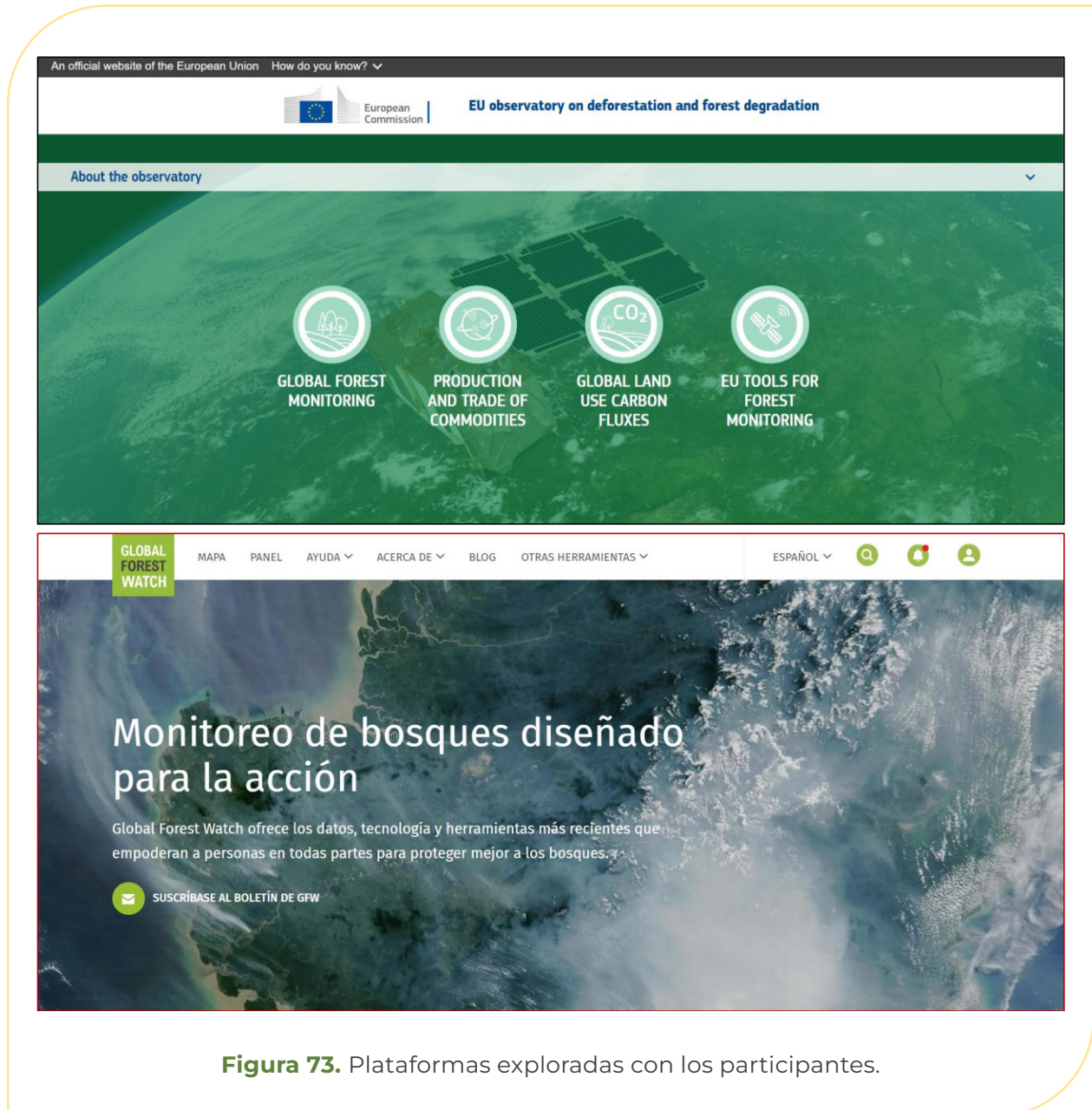


Figura 73. Plataformas exploradas con los participantes.

- Una de las plataformas presentadas fue el Forest Observatory, que permite visualizar los cambios en la cobertura forestal y las tasas de deforestación en los países productores. Esta herramienta facilita el seguimiento de las áreas afectadas por la pérdida de cobertura forestal y permite analizar las tendencias desde 2016 hasta la actualidad. A través de datos oficiales proporcionados por las autoridades nacionales y la FAO, los usuarios pueden identificar los impulsores clave de la deforestación en sus países y regiones, lo que resulta esencial para cumplir con la normativa de la UE.
- Otra plataforma importante fue Global Forest Watch, que ofrece visualización en tiempo real de la deforestación y degradación forestal. Durante la sesión, se mostró cómo ajustar los parámetros temporales y espaciales para analizar la deforestación desde 2020 hasta 2023 en diferentes países.

Conclusiones y reflexiones finales

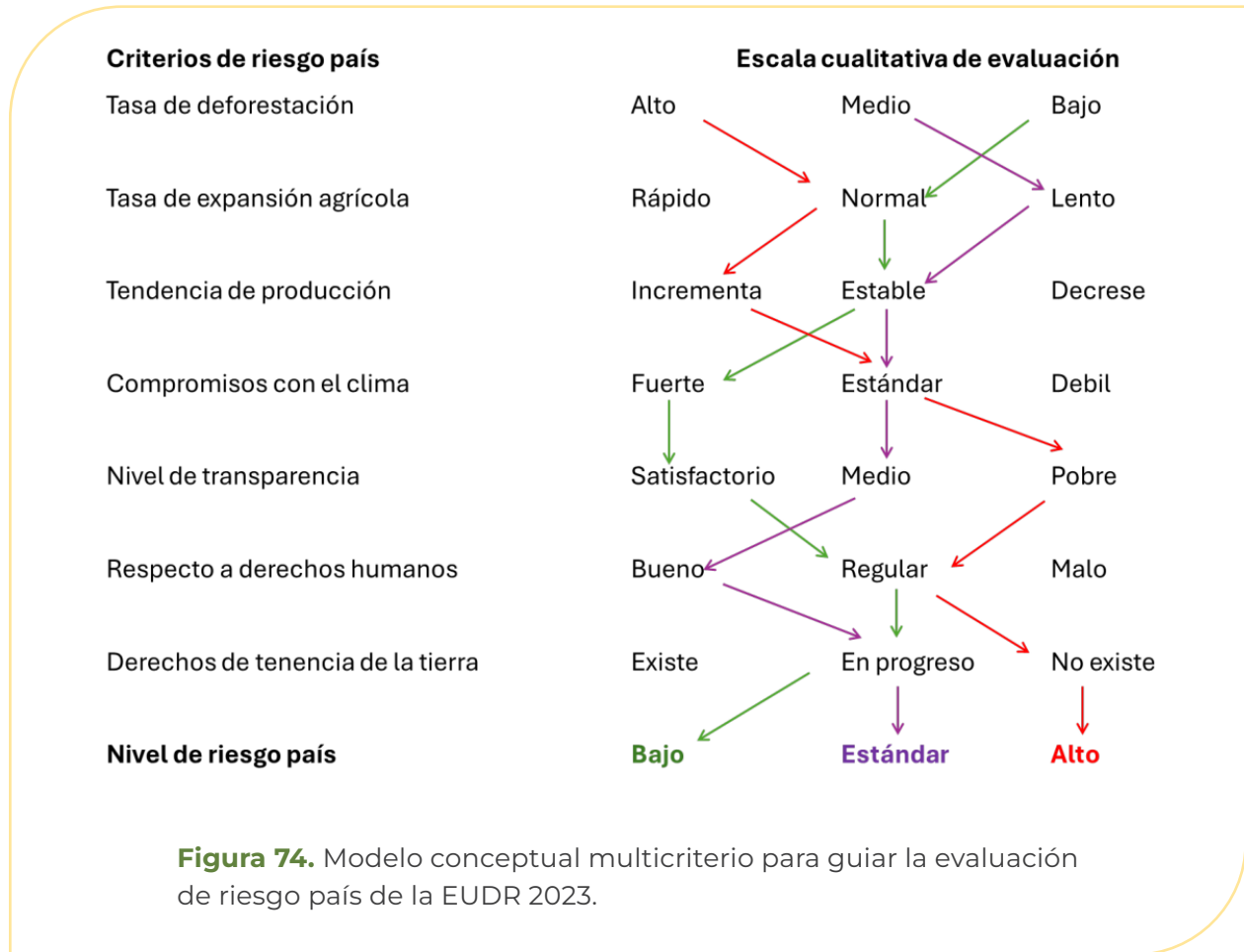
La normativa EU-DR impone desafíos considerables para los países exportadores de productos agrícolas como el cacao y el café. La falta de sistemas de trazabilidad, la necesidad de cumplir con normativas legales locales y los vacíos en las definiciones sobre deforestación generan incertidumbre los sectores productivos. A pesar de que algunos países han avanzado en la implementación de soluciones tecnológicas y en la preparación de sus cadenas de suministro, muchos productores, especialmente los pequeños, enfrentan dificultades para alinearse con estas exigencias. La cooperación entre gobiernos, plataformas tecnológicas y el sector privado será clave para cumplir con los plazos y evitar perder acceso al mercado europeo.

Se resalta que, la normativa pone de relieve la importancia de abordar no solo la deforestación, sino también la degradación forestal y otros aspectos estructurales que afectan la sostenibilidad de las cadenas de suministro. Se espera que la implementación de esta normativa ayude a frenar la deforestación global, pero a corto plazo, representa un desafío significativo para los países de la región.

Los asistentes reflexionaron sobre el uso de las plataformas mostradas para el cumplimiento de la normativa, indicando que si bien presentan limitaciones en cuanto a la resolución de los datos, constituyen opciones para generar informes técnicos preliminares sobre el estado de la deforestación y la trazabilidad en los países productores. Los participantes acordaron que, si bien estas plataformas pueden ser útiles para un análisis a nivel país o regional, será necesario complementarlas con herramientas más precisas para evaluar fincas y parcelas individuales. Además, se destacó la necesidad de que los gobiernos y las cooperativas inviertan en sistemas de monitoreo locales y actualizados que sean compatibles con las exigencias de la normativa EU-DR.

Trabajo práctico de evaluación

Para esta sesión, se orientó a los participantes a completar un modelo teórico de nivel de riesgo país frente a los criterios/dimensiones de evaluación que implementara la Unión Europea como requisito de la normativa EU-DR. Este modelo incluye aspectos como tasa de deforestación, expansión agrícola, tendencias de la producción agrícola y otros criterios de legalidad/normativas nacionales.



Literatura citada y relacionada con el tema

- Carla, M., Angelbault, C., y Gonnet, J. (2024, abril). Benchmarking Traceability and EUDR Compliance Solutions For Cocoa. FCCI. <https://www.chocolateinstitute.org/post/benchmarking-traceability-and-eudr-compliance-solutions-for-cocoa>
- GIZ. (2024). Análisis regional Retos en la cadena de valor de cacao Reglamento (UE) 2023/1115 para comercialización libre de deforestación EUDR. GIZ.
- Martin, C. (2024, abril 5). Benchmarking Traceability and EUDR Compliance Solutions For Cocoa. FCCI. <https://www.chocolateinstitute.org/post/benchmarking-traceability-and-eudr-compliance-solutions-for-cocoa>
- Melo Velasco, J., Padilla-Quiñonez, C., Colindres, M., Ceballos Sierra, F., y Wiegel, J. (2024) Vínculos entre el Reglamento de productos libres de Deforestación de la Unión Europea (EUDR) y las herramientas de trazabilidad: Una exploración desde el sector cafetalero de Honduras. CIAT y CGIAR. <https://alliancebioiversityciat.org/publications-data/vinculos-entre-el-reglamento-de-productos-libres-de-deforestacion-de-la-union>
- Motz, M., y Paino, B. (2024). Estudio de impacto de la regulación europea de no deforestación en cadenas de valor de café y cacao: Resumen ejecutivo. Solidaridad. [https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/ATAG/2022/733624/EPRS_ATA\(2022\)733624_ES.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/ATAG/2022/733624/EPRS_ATA(2022)733624_ES.pdf)

Shademotion como herramienta para el diseño de sistemas agroforestales

Luis Orozco Aguilar, PhD.
luisoroz@catie.ac.cr

Síntesis de la sesión

ShadeMotion (<https://shademotion.net/v5/#>) es una herramienta que se utiliza para simular y analizar la sombra proyectada por árboles en sistemas agroforestales. A diferencia de otros modelos que se centran en la cantidad de radiación solar que reciben las plantas, ShadeMotion se enfoca en la sombra que generan las plantas al bloquear los rayos solares. Esta herramienta utiliza fórmulas geométricas precisas para calcular la posición del sol en diferentes momentos del año y en cualquier lugar del mundo, lo que permite a los usuarios obtener una simulación detallada de la cobertura de sombra sobre cualquier estrato de la plantación, lo que facilita la toma de decisiones fundamentadas en la gestión de la sombra, un factor clave para el manejo eficiente de cultivos sensibles como el café y el cacao.

Uno de los aspectos más destacados de ShadeMotion es su versatilidad, ya que permite al usuario crear simulaciones personalizadas para cualquier ubicación geográfica del planeta. El terreno puede configurarse como plano o inclinado, con grados de pendiente ajustables y con diferentes orientaciones. Además, los usuarios pueden definir las posiciones exactas de los árboles dentro de la parcela, lo que posibilita simular distintos patrones de plantación. Cada árbol puede ser caracterizado en detalle, incluyendo su forma, altura, tamaño de la copa, grosor y altura del tronco. Estas características

permiten que la simulación refleje de manera precisa la realidad del terreno y del sistema agroforestal que se está diseñando.

La herramienta ofrece una gama de opciones para definir la forma de la copa de los árboles, con figuras geométricas como esferas, conos, elipsoides y otras variantes. Además, ShadeMotion permite ajustar la densidad de las copas, así como la variación mensual de la densidad del follaje debido a los cambios estacionales. Estos parámetros son esenciales para modelar cómo la sombra cambia a lo largo del año y cómo afecta al microclima de los cultivos. La herramienta genera reportes gráficos y documentos que detallan la cobertura de sombra en función de los datos ingresados, proporcionando información crucial para optimizar el diseño agroforestal.

La importancia de ShadeMotion en el diseño de sistemas agroforestales radica en su capacidad para mejorar la eficiencia del uso de la tierra y la productividad de los cultivos. Al simular con precisión la distribución de la sombra y la cobertura, los técnicos y productores pueden ajustar sus prácticas de manejo, como el distanciamiento entre árboles o la elección de especies, para maximizar los beneficios agroecológicos.

Objetivo de la sesión

- El objetivo de esta sesión es demostrar el uso práctico de la herramienta Shademotion para el diseño de sistemas agroforestales, enfatizando cómo la simulación de la cobertura y la sombra proyectada por diferentes especies arbóreas puede en la planificación agroforestal de cultivos como el café y el cacao. A través de ejercicios prácticos, los participantes aprenderán a configurar parámetros clave, interpretar los resultados visuales y estadísticos, y utilizar esta información para tomar decisiones informadas sobre la disposición y gestión de los árboles en sus sistemas agroforestales.

Exploración de Shademotion para el diseño de sistemas agroforestales

En esta sesión, el expositor llevó a cabo un ejercicio práctico con la herramienta Shademotion, diseñada para asistir en el diseño de sistemas agroforestales. La simulación se centró en la creación de un sistema agroforestal en una parcela de cacao, y se recomendó el uso de especies arbóreas como el aguacate y naranja para proporcionar sombra. Se discutieron aspectos técnicos clave, como el distanciamiento de plantación, medidas dasométricas (DAP, altura de copa, altura de tronco), forma de copa, ubicación de las especies y la elección de árboles de acompañamiento del cultivo principal, destacando que el distanciamiento adecuado puede variar según la especie y las condiciones del cultivo. Por ejemplo, el cacao se estableció a 3x3 m, el aguacate se recomendó plantarlo a 9x9 m y la naranja a 15x15 m. Tener en cuenta todos estos elementos es fundamental para simular con precisión cómo la sombra de los árboles afecta el sistema agroforestal a lo largo del año. En la figura 47 se muestra el resultado de la simulación.

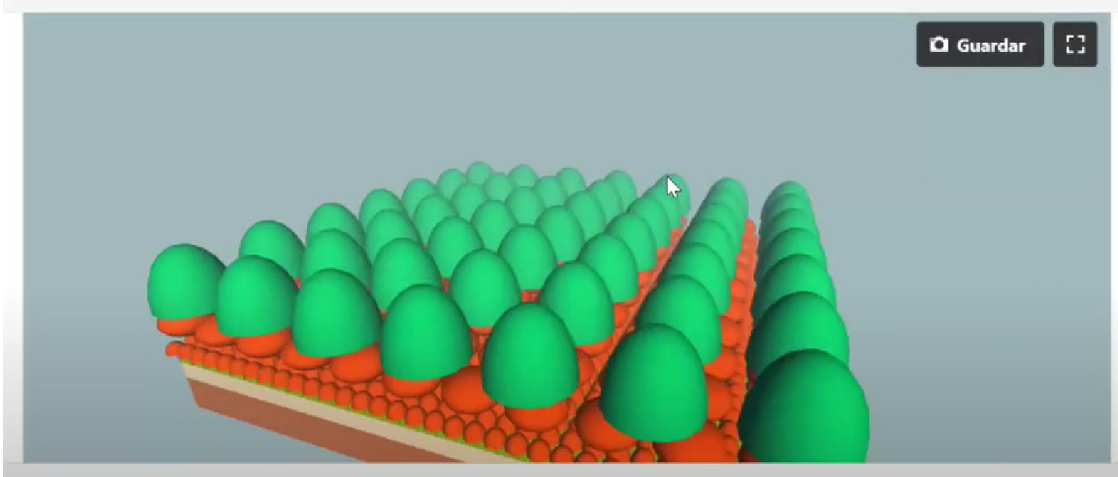


Figura 75. Ejemplo de la simulación de la cobertura de un sistemas agroforestal con cacao, aguacate y naranja.

Se destacó la importancia de ajustar estos parámetros según la realidad del campo, y cómo la herramienta puede simular tanto sistemas agroforestales existentes como planificados. Durante la sesión, también se llevó a cabo una demostración detallada del uso de la herramienta para simular la sombra proyectada por los árboles. Este ejercicio se ejemplificó con un sistema agroforestal de cacao de cinco años asociado con teca y aguacate. Una parte esencial de la simulación fue la definición de las condiciones del terreno. Shademotion ofrece la posibilidad de personalizar las características del sitio, como la latitud y la inclinación del terreno, lo que permite simular la sombra con mayor precisión según la ubicación geográfica de la parcela.

En este ejercicio, se utilizó un terreno plano, sin embargo, la herramienta también permite simular diferentes grados de pendiente, lo que es particularmente útil en áreas con topografía variada. La opción de simular terrenos inclinados añade un nivel de realismo que ayuda a los agricultores a planificar mejor sus plantaciones, considerando las particularidades de su terreno. Con los parámetros establecidos, se procedió a la simulación del movimiento de la sombra a lo largo del tiempo. En este caso, se realizó una simulación para un mes completo (enero), calculando cómo la sombra de los árboles de aguacate se proyectaría sobre el terreno desde las 8:00 a.m. hasta las 4:00 p.m. El software toma en cuenta el movimiento solar y su interacción con los árboles a lo largo del día, lo que permite visualizar cómo la sombra varía en diferentes momentos (Figura 48).

Este tipo de simulación es clave para entender cómo la distribución de la sombra puede afectar el crecimiento de los cultivos asociados, como el cacao, que depende de una sombra parcial para mantener su productividad. Además de este tipo de visualizaciones, Shademotion permite generar un informe detallado que incluye estadísticas descriptivas sobre la cantidad de horas de sombra que cada metro cuadrado de la parcela recibe, el área basal ocupada por cada especie, porcentaje de cobertura, entre otros aspectos. Estos datos proveen insumos fundamental para evaluar la viabilidad del diseño agroforestal en términos de sombra y cobertura.

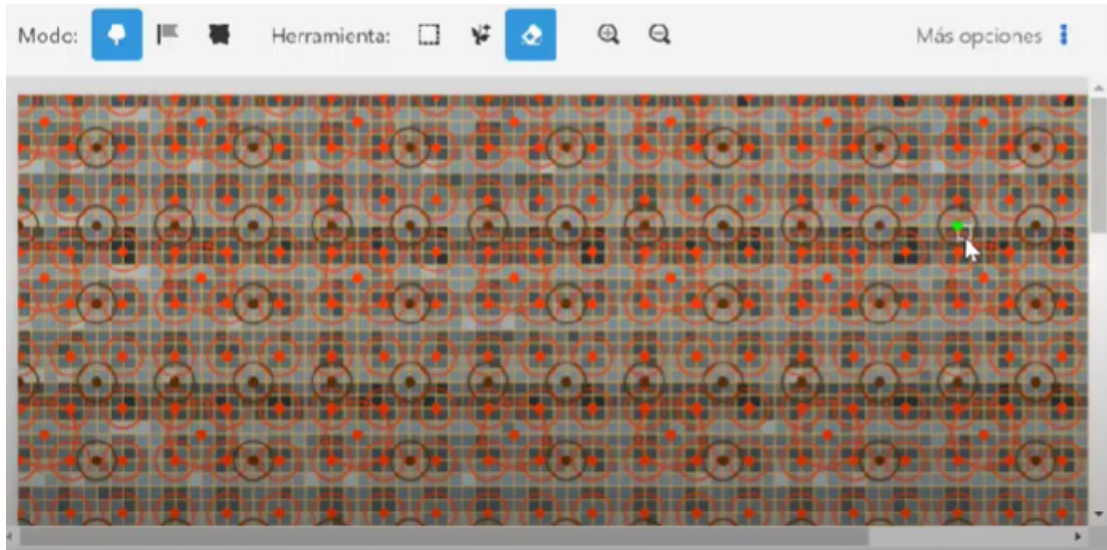


Figura 76. Simulación de la sombra proyectada por los árboles en 2D.

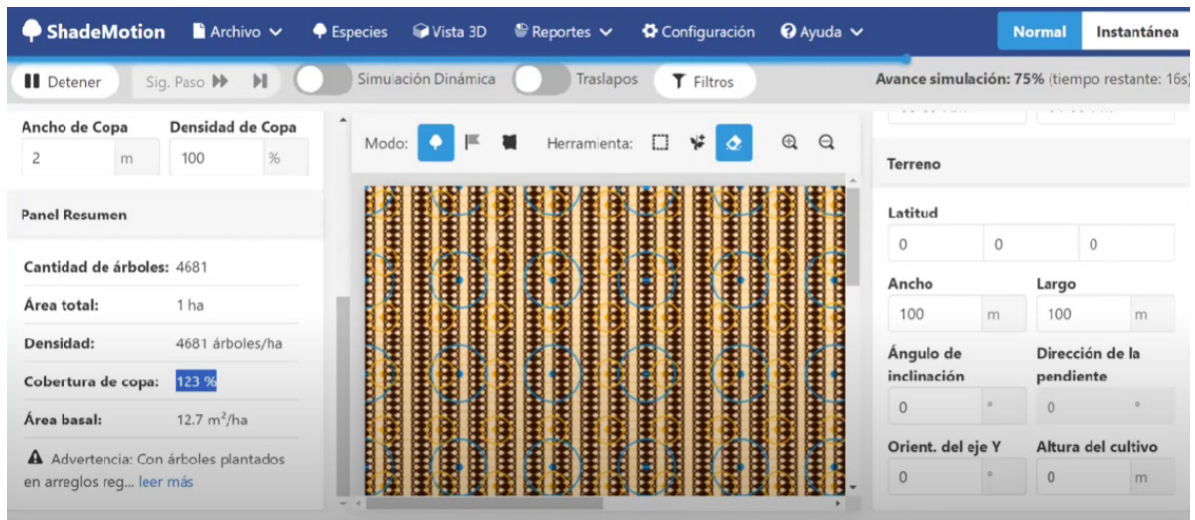


Figura 77. Proyección de la cobertura de copa y área basal de las especies seleccionadas para el diseño agroforestal.

Uno de los aspectos más útiles de la herramienta es la capacidad de realizar ajustes basados en los resultados de la simulación. Si se detectan áreas con exceso de sombra o zonas expuestas a demasiada luz, se pueden modificar parámetros como el distanciamiento de los árboles o la densidad de las copas. Por ejemplo, si se detecta una superposición de copas o un exceso de sombra en ciertas áreas, se pueden hacer ajustes en la densidad de plantación o realizar raleos para optimizar el sistema agroforestal. Esta flexibilidad permite a los técnicos optimizar su sistema agroforestal para maximizar la productividad de los cultivos sin comprometer la presencia de los árboles. Además, la herramienta facilita la simulación de diferentes escenarios estacionales, lo que ayuda a los productores a planificar la gestión de la sombra y la cobertura a lo largo del año.

Literatura citada y relacionada con el tema

- Orozco-Aguilar, L., Lopez-Sampson, A., Cerda, R. H., Casanoves, F., Ramirez-Argueta, O., Diaz Matute, J., Suárez Salazar, J. C., Rüegg, J., Saj, S., Milz, J., Schneidewind, U., Mora Garces, A., Baez Daza, E., Rojas Molina, J., Jaimes Suarez, Y., Agudelo-Castañeda, G. A., Deheuvels, O., Brito Sosa, E., Gómez, J. H., ... Somarriba, E. (2024). CacaoFIT: The network of cacao field trials in Latin America and its contribution to sustainable cacao farming in the region. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 8. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2024.1370275>
- Somarriba, E., Zamora, R., Barrantes, J., Malek, M., Vargas, E., Sinclair, F., & Quesada, F. (2020). ShadeMotion: El análisis de patrones de sombra de árboles. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). <https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/11594>
- Somarriba, E., Zamora, R., Barrantes, J., Sinclair, F. L., & Quesada, F. (2023). ShadeMotion: Tree shade patterns in coffee and cocoa agroforestry systems. *Agroforestry Systems*, 97(1), 31-44. <https://doi.org/10.1007/s10457-022-00784-1>

Institucionalidad de la calidad de cacao como estrategia de posicionamiento y diferenciación de la región LAC

Adriana Arciniegas Leal, M.Sc
aleal@catie.ac.cr

Síntesis de la sesión

Las semillas del árbol del cacao (*Theobroma cacao* L.) son la materia prima fundamental para los productos de chocolate y constituyen la fuente de ingresos de millones de pequeños agricultores de países tropicales y subtropicales (Hegmann et al., 2020). En este marco, la sesión abordó las herramientas necesarias para posicionar el cacao de América Latina y el Caribe (LAC) en los mercados internacionales a través de una institucionalidad que promueva la calidad del producto final. La sesión se centró en tres conceptos clave: normativas, certificaciones y políticas públicas que influyen en la producción y comercialización del cacao, y cómo estas regulaciones pueden diferenciar a la región en el competitivo mercado global.

Uno de los temas principales fue la calidad del grano de cacao, la cual depende de una serie de factores relacionados con la genética, el manejo de la producción, la transformación primaria (como la fermentación y el secado), y la transformación secundaria (tostado, molido, conchado). Estos procesos no solo determinan la calidad organoléptica del cacao, sino también su capacidad para cumplir con las exigencias de trazabilidad e inocuidad que exigen los mercados internacionales.

Se explicó que el cacao fino y de aroma, que representa aproximadamente el 3% de la producción mundial, se caracteriza por un perfil organoléptico distintivo y se vende a precios significativamente más altos que el cacao a granel, que constituye la mayor parte del mercado. La diferenciación de este cacao no solo radica en sus características físicas y químicas, sino también en el uso de marcas país, indicaciones geográficas y certificaciones de comercio justo o producción libre de deforestación.

Se discutió también la cadena de valor del cacao en LAC, que incluye aproximadamente 400,000 fincas familiares distribuidas en 25 países. América Latina produce cerca del 20% del cacao mundial, destacándose como la mayor proveedora de cacao orgánico y fino. Los principales destinos de exportación son la Unión Europea, Asia y América del Norte.

Para concluir, se subrayó la importancia de implementar protocolos de evaluación de calidad, desde el estado de madurez del grano hasta el proceso de secado, para asegurar que los lotes de cacao cumplan con los estándares de calidad internacional y asegurar una mayor competitividad.

Objetivo de la sesión

- El objetivo central de la sesión fue presentar cómo la institucionalidad de la calidad del cacao puede ser una herramienta estratégica para diferenciar y posicionar la región de América Latina y el Caribe en los mercados internacionales. A través de la implementación de normativas, certificaciones, y políticas públicas que aseguren la trazabilidad, inocuidad y estándares de calidad superiores, los países de la región pueden aumentar su competitividad. Se busca también destacar cómo la identificación biocultural y el acceso a mercados de nicho, junto con las certificaciones de calidad, permiten a los productores obtener mejores precios y posicionarse en el mercado de chocolates Premium.

Puntos clave abordados en la sesión

Normativas, certificaciones y políticas públicas

- La sesión destacó la importancia de contar con una institucionalidad sólida que regule la calidad del cacao en la región de América Latina y el Caribe (LAC). Esta institucionalidad se apoya en tres pilares: normativas, certificaciones y políticas públicas, que regulan tanto la producción como la comercialización del cacao. Las normativas internacionales como las ISO 22000, ISO 9000 e ISO 2451 son esenciales para garantizar la calidad y la trazabilidad del producto.
- Estas normas permiten acceder a mercados internacionales, asegurando que el cacao cumpla con los estándares de seguridad alimentaria y esté libre de contaminantes como metales pesados. Además, la certificación de calidad permite a los productores diferenciar su cacao en mercados de alto valor, como los de Europa y América del Norte.
- La presentación señaló que para competir en estos mercados, es fundamental que el cacao esté libre de metales pesados y que cumpla con normas estrictas de trazabilidad, asegurando que los consumidores puedan conocer su origen y las condiciones bajo las cuales fue producido. Las políticas públicas también juegan un papel clave, ya que permiten establecer marcos regulatorios que promuevan la competitividad de los países de la región en el mercado global, mediante el uso de marcas país y otros mecanismos de diferenciación.

Situación actual de la cadena de valor en LAC

- Se hizo un análisis exhaustivo de la cadena de valor del cacao en LAC, que abarca aproximadamente 1.8 millones de ha de cultivo y más de 400,000 fincas familiares distribuidas en 25 países. La producción de cacao en la región alcanza las 700,000 toneladas, lo que representa cerca del 20% de la producción mundial. Además, LAC es el mayor proveedor de cacao orgánico fino y de aroma, concentrando más del 80% de la oferta global de este tipo de cacao. Los principales mercados de exportación son la Unión Europea (64%), Asia (20%) y América del Norte (16%).

- La presentación destacó que 13 países de la región han sido reconocidos por la Organización Internacional del Cacao (ICCO) con cuotas que van del 10% al 100% en la categoría de cacao fino y de aroma. Esta certificación permite a los países acceder a mercados diferenciados y obtener mejores precios para sus productos.

Calidad del grano de cacao según los actores de la cadena de valor

- La calidad del cacao es percibida de manera diferente por cada uno de los actores en la cadena de valor, desde los productores hasta los consumidores finales. Para los productores, los factores más importantes incluyen el volumen de producción, la genética del cacao (como el color de los granos), la ausencia de metales pesados, y la trazabilidad e inocuidad del producto.
- Los procesadores y exportadores, por su parte, se enfocan en el rendimiento (particularmente en términos de la cascarilla del grano), la consistencia en la calidad del producto, y la trazabilidad. También valoran si los granos están correctamente fermentados, ya que esto influye directamente en la calidad final.
- Los compradores industriales exigen consistencia en los procesos, trazabilidad y seguridad en los lotes, mientras que los chocolateros artesanales se preocupan por la procedencia, el origen, el valor nutricional y la inocuidad. Finalmente, los consumidores finales esperan que el cacao sea de alta calidad, con un sabor distintivo y que provenga de fuentes responsables en términos sociales y ambientales.



Figura 78. Calidad del grano de cacao en función de los actores.

Diferenciación y calidad del cacao fino y de aroma

- El cacao fino y de aroma, producido en 24 países de los cuales la mayoría están en América Latina, es un producto altamente valorado en el mercado internacional. Actualmente, representa solo el 3% de la producción mundial, pero su valor en el mercado es significativamente superior al del cacao corriente, que constituye el 97% de la producción. Este cacao se exporta principalmente a Europa (Bélgica, Francia, Alemania, Países Bajos, Suiza), América del Norte (Canadá y Estados Unidos), y Asia (Japón).
- No existe un criterio único para definir el cacao fino y de aroma, pero generalmente se reconoce por su genética especial, su perfil organoléptico distintivo y sus características físicas y químicas superiores. Este tipo de cacao permite la producción de chocolates de alta calidad, y es fundamental que los productores comprendan y dominen el desarrollo de los sabores y aromas que lo caracterizan. Además, este cacao es comercializado a precios superiores en comparación con el cacao corriente.

Mercados de chocolates premium

- El mercado de los chocolates Premium está en crecimiento y se espera que pase de USD 35.97 mil millones en 2024 a US\$ 54.91 mil millones en 2029, con un crecimiento de consumo del 8.83% en este periodo.
- Sudamérica se perfila como el mercado de crecimiento más rápido, mientras que Europa sigue siendo el mercado más grande. Este crecimiento está impulsado por una demanda creciente de productos diferenciados, que valoran las certificaciones de calidad, la trazabilidad y los sellos de producción sostenible.

Expectativas actuales de los sistemas de producción de cacao

- Los sistemas de producción de cacao están evolucionando para responder a las exigencias del mercado internacional. Se espera que estos sistemas sean altamente productivos, implementando prácticas de Agricultura Climáticamente Inteligente (ACI) para aumentar la sostenibilidad. También se enfatiza la necesidad de diversificar los productos, asegurando la trazabilidad y la inocuidad de los mismos.
- Uno de los retos más importantes es garantizar que el cacao esté libre de metales pesados y de deforestación, especialmente para los mercados europeos. En este sentido, el crecimiento de la demanda de cacaos finos está impulsando el desarrollo de productos innovadores con indicaciones geográficas, sellos bioculturales, y certificaciones que aseguran prácticas agrícolas responsables. Por otra parte, la diversidad de aromas y sabores es un aspecto cada vez más valorado, con productos que reflejan los orígenes únicos de las regiones productoras de cacao.

Factores que influyen en la calidad del grano de cacao:

- La calidad del grano de cacao está determinada por varios factores que incluyen la genética del cacao, las condiciones ambientales (clima, suelo), y el manejo del cultivo. Además, la transformación primaria (cosecha, fermentación, secado, almacenamiento y transporte) es crucial para desarrollar las características organolépticas del cacao.
- Por ejemplo, la fermentación es uno de los procesos más complejos, ya que permite la creación de precursores del sabor y el aroma. Se debe prestar atención a factores como la concentración de azúcares en la pulpa, el genotipo del cacao, el volumen de fermentación, y las condiciones ambientales.
- La transformación secundaria (tostado, molido, conchado, temperado) también tiene un impacto significativo en la calidad del cacao, ya que estos procesos desarrollan los compuestos responsables del sabor y el aroma finales del chocolate. La presentación mencionó que hasta 600 compuestos diferentes contribuyen al sabor y aroma del chocolate.

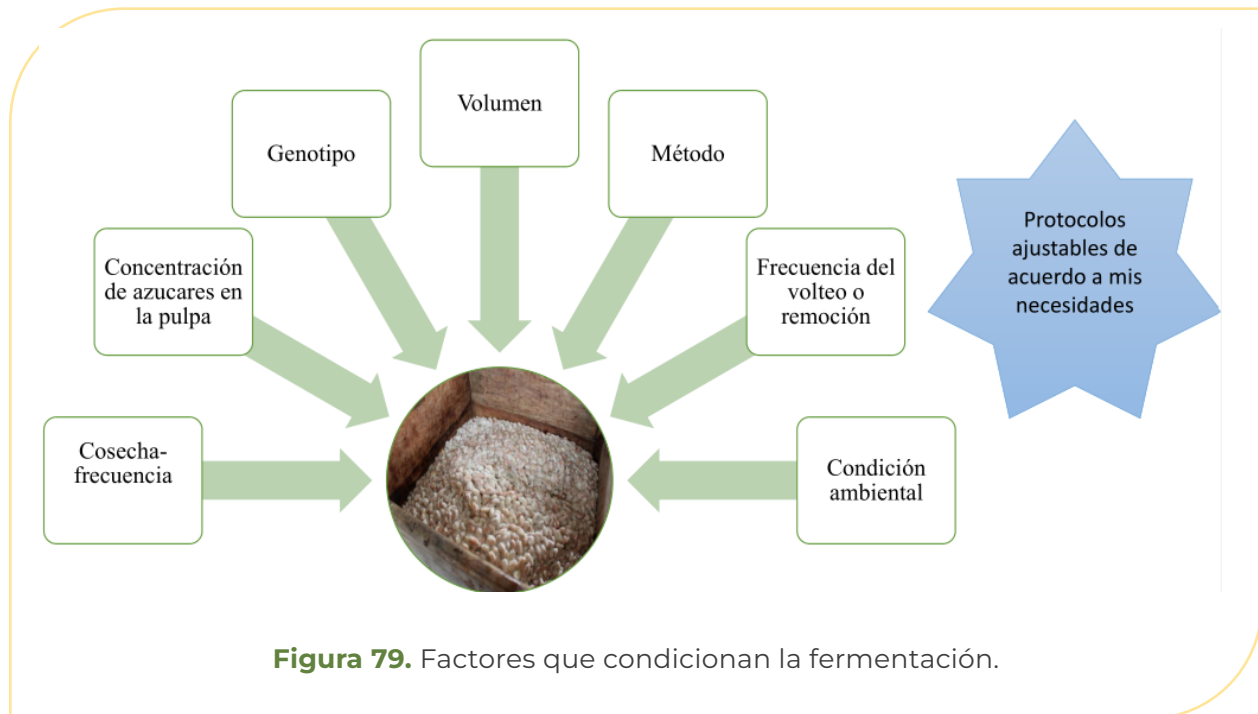


Figura 79. Factores que condicionan la fermentación.

Procesos de fermentación y secado

- La fermentación y el secado son dos de los procesos más críticos para garantizar la calidad del cacao. Durante la fermentación, se desarrollan los precursores del sabor, y las condiciones ambientales juegan un papel clave en el éxito de este proceso.
- Se mencionaron diferentes métodos de fermentación, como cajas, cajones tipo escalera, y tambores, y se explicó cómo la frecuencia de los volteos afecta el perfil organoléptico del cacao. En cuanto al secado, se mencionaron diferentes técnicas, como el secado natural y artificial. El secado demasiado rápido puede generar granos quebradizos y mayor acidez, mientras que el secado lento puede provocar moho y sabores indeseados.
- La presentación subrayó que el cacao fino no debe secarse en pisos de cemento ni en lonas plásticas, ya que esto afecta negativamente su calidad.

Protocolos de evaluación de calidad del cacao

- Los productores deben seguir protocolos estrictos para evaluar la calidad del cacao. Entre los criterios evaluados se incluyen la limpieza del grano, el contenido de humedad, el tamaño y la fermentación.

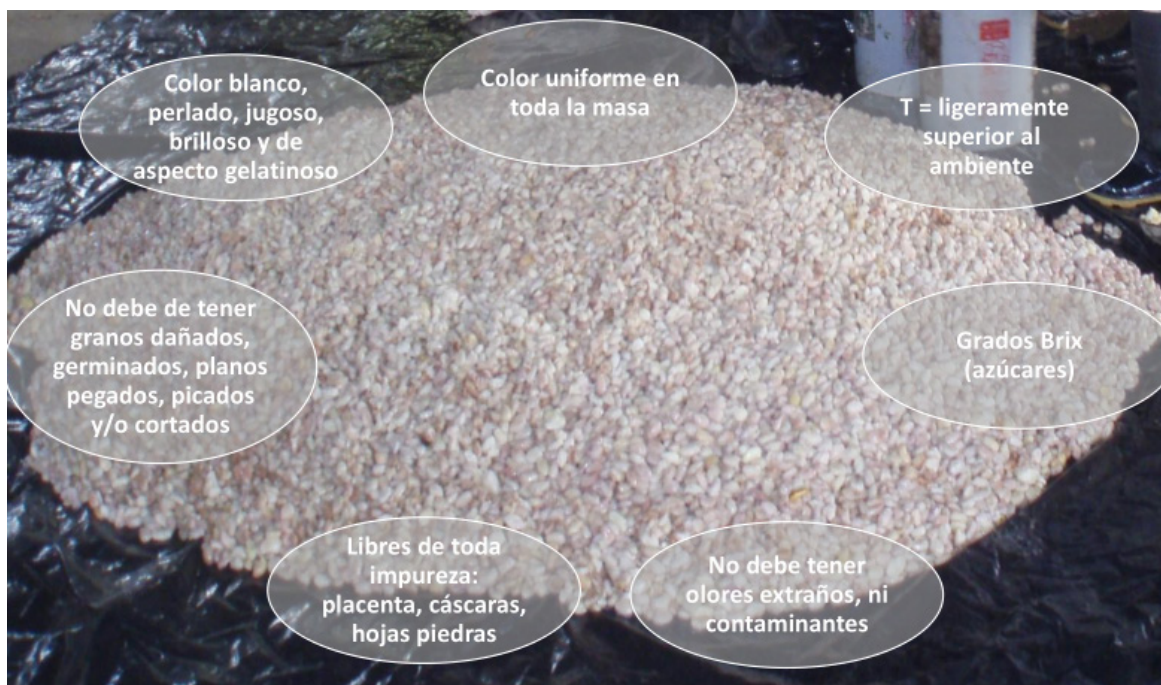
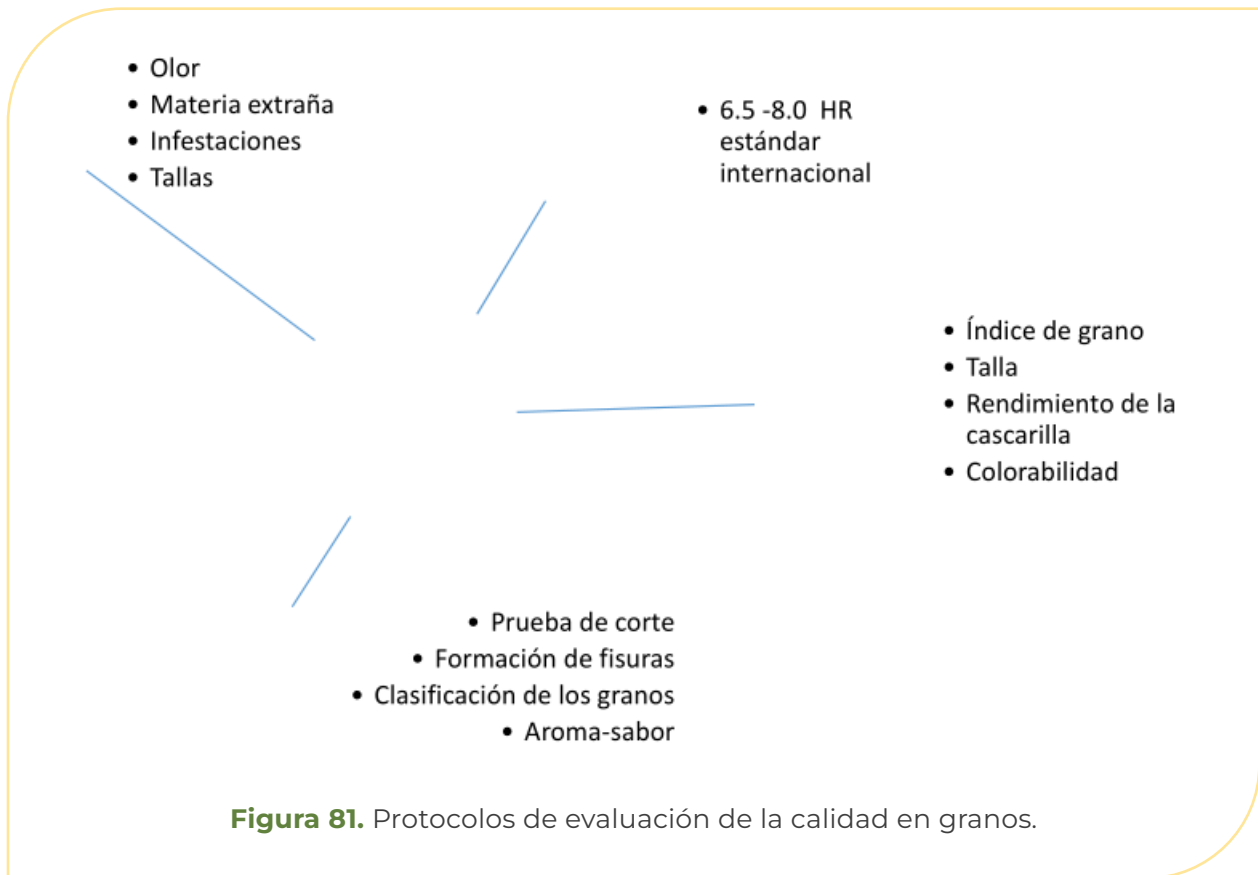


Figura 80. Características de un buen cacao en baba.

- La prueba de corte es fundamental para determinar el grado de fermentación del grano, y los granos deben cumplir con los estándares internacionales de contenido de humedad, que oscilan entre 6.5% y 8%.
- También se mencionó la importancia de realizar evaluaciones sensoriales tanto del grano crudo como del grano tostado, y de asegurar que el licor y el chocolate tengan las características organolépticas esperadas para los productos de alta calidad.



Conclusiones y reflexiones finales

La sesión concluyó con una reflexión sobre cómo la institucionalidad en torno a la calidad del cacao puede ser una herramienta clave para posicionar a los países de América Latina y el Caribe en los mercados globales. El establecimiento de normativas y certificaciones es crucial para asegurar que el cacao producido en la región cumpla con los más altos estándares de calidad, lo que permite acceder a mercados de chocolates Premium donde se valoran productos diferenciados por su origen, genética y trazabilidad.

Además, se resaltó la importancia de implementar prácticas sostenibles y de agricultura climáticamente inteligente para responder a las demandas de los consumidores, quienes cada vez más valoran productos éticos y sostenibles. Estas prácticas no solo

mejoran la calidad del cacao, sino que también abren nuevas oportunidades de mercado, permitiendo a los productores obtener mejores precios y competir a nivel internacional.

Se reflexionó sobre la necesidad de desarrollar líneas de investigación para mejorar los protocolos postcosecha, como la evolución hacia el uso de levaduras especializadas en la fermentación del cacao, lo que permitirá continuar mejorando la calidad del producto y su diferenciación en los mercados internacionales.

Preguntas de evaluación

1	<p>La institucionalidad de la calidad en el cacao se refiere únicamente a los organismos internacionales que establecen estándares para la producción y comercio de cacao.</p> <p><input type="checkbox"/> Verdadero</p> <p><input type="checkbox"/> Falso</p>
2	<p>La calidad final del cacao se ve afectada únicamente por la genética y las condiciones climáticas del cultivo.</p> <p><input type="checkbox"/> Verdadero</p> <p><input type="checkbox"/> Falso</p>
3	<p>Las condiciones ambientales, como la altura, humedad relativa y temperatura pueden afectar la calidad final en el grano de cacao y su transformación a chocolate.</p> <p><input type="checkbox"/> Verdadero</p> <p><input type="checkbox"/> Falso</p>
4	<p>Se podría afirmar que el cacao fino o de aroma se diferencia del cacao común por su perfil de sabor más complejo y menos amargo.</p> <p><input type="checkbox"/> Verdadero</p> <p><input type="checkbox"/> Falso</p>
5	<p>Se podría afirmar que la participación en concursos de calidad y la obtención de premios no proporciona beneficios tangibles para los productores de cacao en términos de acceso a mercados y precios más altos.</p> <p><input type="checkbox"/> Verdadero</p> <p><input type="checkbox"/> Falso</p>

Literatura citada y relacionada con el tema

- Ahmed, S., Brinkley, S., Smith, E., Sela, A., Theisen, M., Thibodeau, C., Warne, T., Anderson, E., Van Dusen, N., Giuliano, P., Ionescu, K. E., & Cash, S. B. (2021). Climate Change and Coffee Quality: Systematic Review on the Effects of Environmental and Management Variation on Secondary Metabolites and Sensory Attributes of *Coffea arabica* and *Coffea canephora*. *Frontiers in Plant Science*, 12. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.708013>
- Hegmann, E., Niether, W., Phillips-Mora, W., Rohsius, C., & Lieberei, R. (2020). Besides variety, also season and ripening stage have a major influence on fruit pulp aroma of cacao (*Theobroma cacao* L.). *Journal of Applied Botany and Food Quality*, 93, 266-275. <https://doi.org/10.5073/JABFQ.2020.093.033>
- Pino, S., & Macías, J. (2024). Beneficio económico de la comercialización asociativa de cacao arriba con certificación orgánica. *Compendium: Cuadernos de Economía y Administración*, 11(1), 58-71. <https://doi.org/10.46677/compendium.v11i1.1241>

Estimación de carbono en sistemas agroforestales y pago por servicios ambientales

Rolando Cerda, PhD.
rcerda@catie.ac.cr

Síntesis de la sesión

El servicio ambiental de fijación y almacenamiento de carbono en los ecosistemas forestales y agroforestales es una función ecológica que no solo contribuye a la mitigación de los gases de efecto invernadero, sino que también ofrece oportunidades para convertirse en una opción financieramente viable para generar créditos de carbono (Segura & Andrade, 2008). En este marco, la sesión titulada “Estimación de carbono en sistemas agroforestales y pago por servicios ambientales” se centró en la importancia de los sistemas agroforestales, como los de café y cacao, para el secuestro de carbono, así como las oportunidades económicas que representa este proceso a través de mecanismos de pago por servicios ambientales (PSA).

El secuestro de carbono se define como la capacidad de los sistemas agroforestales para almacenar carbono en diversos compartimentos, como la biomasa aérea (árboles y plantas), el suelo, las raíces, la hojarasca y la necromasa. La medición precisa del carbono en estos compartimentos es fundamental para acceder a los beneficios económicos que ofrecen los PSA, como en el caso de Costa Rica, donde estos programas han apoyado la restauración de la cobertura forestal y beneficiado a comunidades rurales e indígenas.

El enfoque principal de la sesión fue la metodología para estimar el carbono en los sistemas agroforestales. Se discutieron dos enfoques principales: el uso de ecuaciones dasométricas y ecuaciones alométricas para calcular la biomasa de los árboles. Estos cálculos permiten convertir la biomasa en carbono utilizando un factor de conversión recomendado por el IPCC (0.47). Además, se mencionaron las opciones tecnológicas disponibles para facilitar estas mediciones, como las aplicaciones móviles que permiten estimar la altura de los árboles de forma precisa y rápida.

La importancia de mantener consistencia en las áreas de muestreo también fue un punto clave de la sesión. Se recomendaron parcelas de 1000 m² o más para estudios científicos, con la flexibilidad de utilizar diferentes formas de parcelas (rectangulares, cuadradas o circulares), siempre y cuando se mantenga una metodología coherente. Esta consistencia es crucial para asegurar la validez de los datos, especialmente en estudios que buscan acceder a PSA o generar publicaciones científicas.

Finalmente, se destacó que los pagos por servicios ambientales representan una oportunidad significativa para los productores agroforestales, no solo en términos de secuestro de carbono, sino también en la conservación de la biodiversidad y la protección de ecosistemas. Se compartieron ejemplos exitosos de programas en América Latina que han implementado estos pagos, proporcionando incentivos financieros a los agricultores que contribuyen a la conservación ambiental.

Objetivo de la sesión

- El objetivo central de la sesión fue proporcionar una introducción detallada a las metodologías utilizadas para estimar el carbono en sistemas agroforestales, y cómo estas mediciones pueden contribuir al pago por servicios ambientales. Se buscó capacitar a los participantes en la implementación de técnicas prácticas para medir el carbono almacenado en la biomasa de árboles y cultivos como café y cacao, así como en el suelo, la hojarasca y la necromasa. Además, la sesión abordó brevemente los mecanismos de pago por secuestro de carbono y la conservación de la biodiversidad en sistemas agroforestales.

Puntos clave abordados en la sesión

Servicios ecosistémicos y secuestro de carbono

- Los servicios ecosistémicos se definen como las condiciones y procesos a través de los cuales los ecosistemas (naturales o manejados) y las especies que los componen, sostienen, y cumplen con la vida humana. Eso incluye tanto bienes y funciones (Daily, 1997).
- Uno de los servicios ecosistémicos más importantes es el secuestro de carbono, un proceso crucial para mitigar los gases de efecto invernadero, que ayuda a frenar el cambio climático. En este proceso, los sistemas agroforestales juegan un papel crucial, ya que se actúan como “sumideros de carbono”, es decir, absorben carbono de la atmósfera y lo almacenan en la biomasa vegetal de los árboles, cultivos y en el suelo.
- Los sistemas agroforestales con café y cacao, se destacan como ejemplos en la región donde el carbono puede ser secuestrado en diferentes compartimentos, lo que puede generar incentivos económicos para los productores a través de programas de pago por servicios ambientales (PSA).

- Estos pagos no solo recompensan el secuestro de carbono, sino también otros servicios ecosistémicos, como la conservación de la biodiversidad y la protección de hábitats. Se enfatizó que la importancia de estos servicios ha sido reconocida en programas como el PSA de Costa Rica, que ha financiado más de un millón de ha en diferentes modalidades, incluyendo sistemas agroforestales.

Compartimentos de carbono en sistemas agroforestales

- Se discutió en detalle que el carbono en los sistemas agroforestales puede almacenarse en varios compartimentos, cada uno con un papel crucial en el balance de carbono (Figura 52). Estos compartimentos incluyen:
 - **Biomasa aérea:** Todo lo que está por encima del suelo, como árboles de sombra, cultivos de cacao y café, y otras plantas asociadas, como bananos y plátanos.
 - **Hojarasca:** Material vegetal en descomposición sobre la superficie del suelo.
 - **Necromasa:** Troncos y ramas muertas.
 - **Raíces gruesas y finas:** Las raíces también almacenan una cantidad significativa de carbono.
 - **Suelo:** El suelo es un gran reservorio de carbono, especialmente el carbono orgánico almacenado a profundidades de hasta 30 cm.
- Para obtener una medición completa del carbono en estos compartimentos, se necesita una metodología coherente y ordenada. Esto es especialmente relevante en estudios científicos o proyectos que busquen acceso a PSA. Los participantes en la sesión discutieron la importancia de medir cada compartimento de manera precisa, ya que algunos, como la necromasa y la hojarasca, a menudo son subestimados en las evaluaciones de carbono.



Áreas de muestreo y su importancia

- Una parte fundamental de la metodología es la elección del área de muestreo. Los participantes mencionaron el uso de parcelas de 1000 m² como estándar para estudios a nivel técnico y científico.
- Esta área permite capturar una representación adecuada del carbono almacenado sin hacer un censo completo, lo cual sería impráctico en áreas extensas. Durante la discusión, algunos participantes de Nicaragua señalaron que utilizaron el coeficiente de variación para calcular el tamaño de la muestra y así asegurar que la cantidad de parcelas seleccionadas fuera representativa de la variabilidad del paisaje.

- Se debatió sobre las distintas formas de las parcelas, siendo las formas más comunes las circulares y rectangulares, según la facilidad del terreno y el tipo de vegetación presente. Sin embargo, se subrayó que es esencial mantener la consistencia metodológica: si se elige un tipo de parcela para un estudio, todas las parcelas deben seguir esa misma estructura para garantizar la validez de los datos. Esto es crucial si los resultados van a ser publicados o utilizados para PSA.

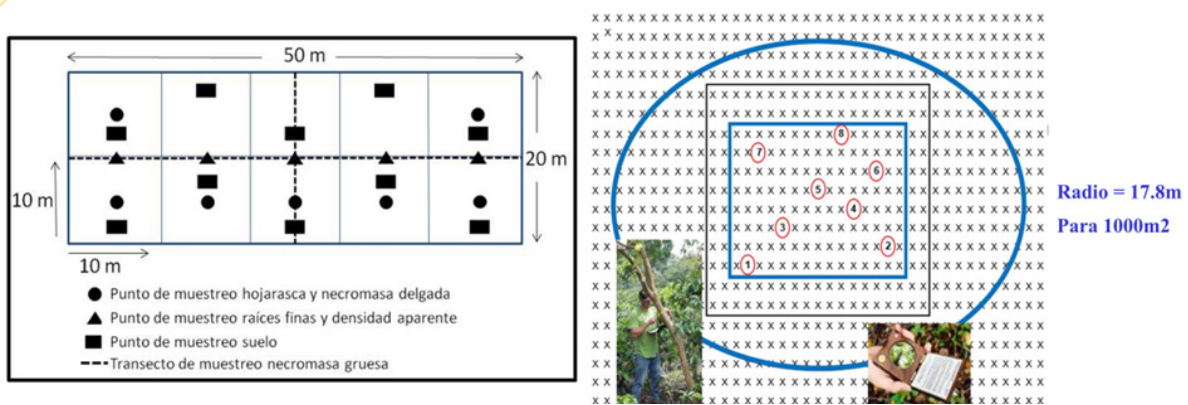


Figura 83. Puntos de muestreo para parcelas rectangulares y circulares.

Métodos de medición del carbono

- La medición del carbono en la biomasa aérea es uno de los pasos más importantes y puede realizarse mediante dos enfoques:
 - **Ecuaciones dasométricas:** Se utilizan fórmulas basadas en el diámetro a la altura del pecho (DAP) y la altura del árbol para calcular el volumen y, posteriormente, la biomasa.
 - **Ecuaciones alométricas:** Estas ecuaciones, recomendadas por el IPCC y otros estudios científicos, permiten estimar la biomasa basándose en parámetros como el diámetro del tronco, la altura total y la altura de la copa (Figura 54).

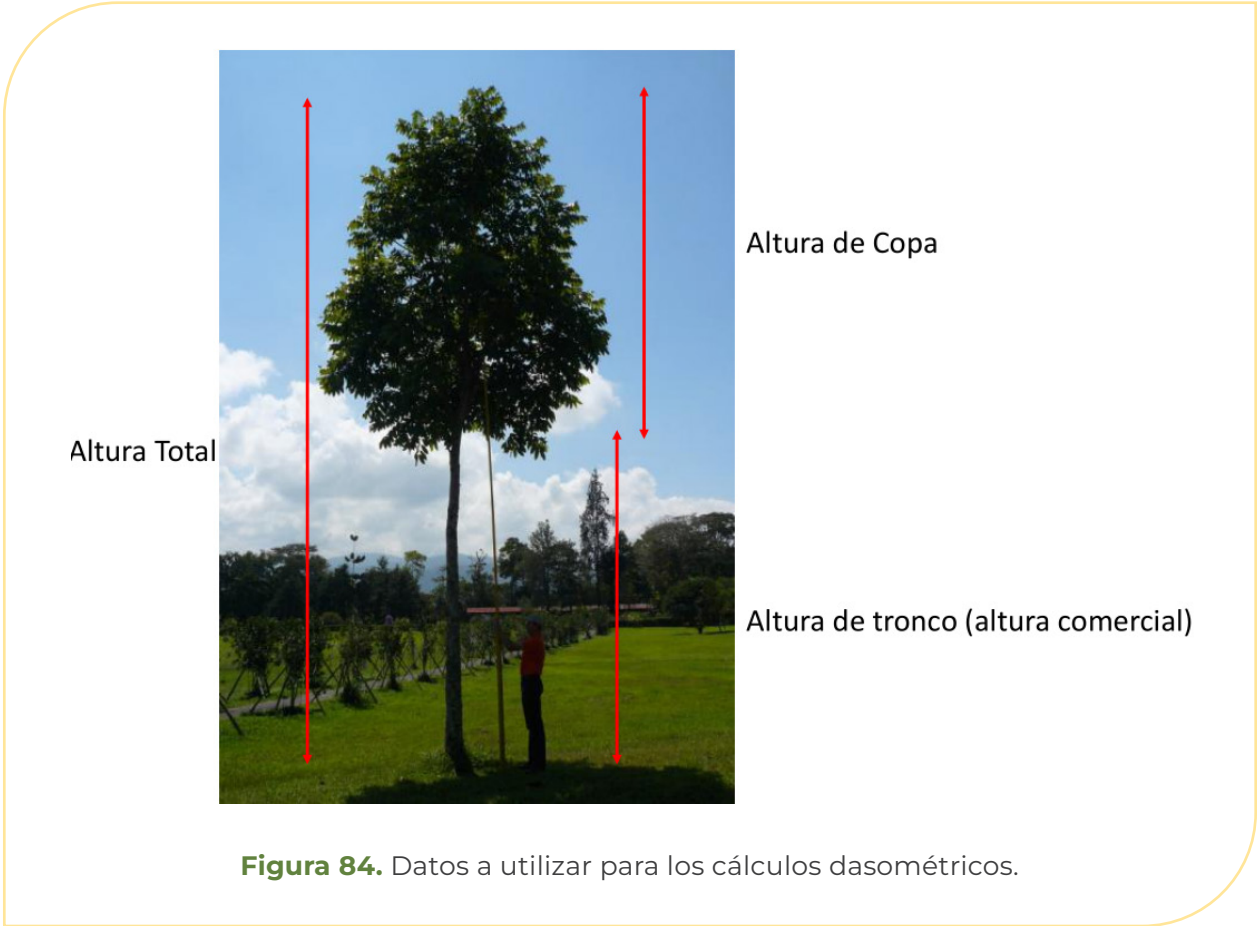


Figura 84. Datos a utilizar para los cálculos dasométricos.

Pais	Especie	Modelo	R ² ajustado	Fuente
Sistemas silvopastoriles				
Costa Rica	<i>Acacia mangium</i>	$B = 3,4 + 0,064 \cdot \text{dap}^2 + 1,0 \cdot h$	0,99	Andrade 1999
	<i>Eucalyptus deglupta</i>	$B = 4,2 + 0,052 \cdot \text{dap}^2 + 1,1 \cdot h$	0,99	Andrade 1999
	<i>Pithecellobium saman</i> , <i>Dalbergia retusa</i> y <i>Diplysa robinoides</i>	$B = 10^{0,54 + 2,05 \cdot \text{Log}(h) - 1,38 \cdot \text{Log}(h)}$	0,92	Andrade 2007
	Plantación pura			
Costa Rica	<i>Tectona grandis</i>	$B = 10^{0,83 + 2,38 \cdot \text{Log}(h)}$	0,97	Pérez y Kanninen 2003
Sistemas agroforestales				
Costa Rica	Frutales	$B = 10^{1,1 + 2,84 \cdot \text{Log}(h)}$	0,95	
	<i>Theobroma cacao</i>	$B = 10^{1,625 + 2,63 \cdot \text{Log}(h)}$	0,98	Andrade et al. en preparación.
	<i>Cordia alliodora</i>	$B = 10^{0,51 + 2,08 \cdot \text{Log}(h)}$	0,92	
	Latizales (dap < 10 cm)	$B = 10^{1,27 + 2,20 \cdot \text{Log}(h)}$	0,88	
Nicaragua	<i>Coffea arabica</i>	$B = 10^{1,0 + 2 \cdot \text{Log}(h)}$	0,95	
	<i>Inga punctata</i> , <i>I. tonduzzii</i> , <i>Cordia alliodora</i> , <i>Juglans olanchana</i>	$B = 10^{1,2 + 2,1 \cdot \text{Log}(h)}$	0,94	Segura et al. 2006
		$B = 10^{1,0 + 2,3 \cdot \text{Log}(h)}$	0,94	
	Bosque			
Costa Rica	Siete especies	$B = e^{7,3 + 2,3 \cdot \text{Log}(h)} \cdot 1000$	0,71	Segura y Kanninen 2005

Especie o tipo de planta	Ecuación o fórmula	Fuente
<i>Theobroma cacao</i>	$\text{Log Bt} = (-1,684 + 2,158 \cdot \text{Log}(\text{dap}_{30}) + 0,892 \cdot \text{Log}(\text{alt}))$	(CATIE, unpublished)
<i>Cordia alliodora</i>	$\text{Log Bt} = (-0,94 + 1,32 \cdot \text{Log}(\text{dap}) + 1,14 \cdot \text{Log}(\text{alt}))$	(CATIE, unpublished)
<i>Bactris gasipaes</i>	$\text{Bt} = 0,74 \cdot \text{alt}^2$	Szott et al., 1993
Árboles maderables	$\text{Bt} = (21,3 - 6,95 \cdot (\text{dap}) + 0,74 \cdot (\text{dap}^2))$	(Brown and Iverson, 1992)
Árboles frutales	$\text{Log Bt} = (-1,11 + 2,64 \cdot \text{Log}(\text{dap}))$	(CATIE, unpublished)
Palmas	$= 4,5 + 7,7 \cdot (\text{alt})$	Frangi y Lugo, 1985;
Raíces gruesas	$\text{Bt} = \exp(-1,0587 + 0,8836 \cdot \ln(\text{BAI}))$	IPCC, 2003
Carbono en biomásas	$C = \text{Bt} \cdot \text{Fc}$; $\text{Fc} = 0,5$	IPCC, 2003
Musáceas	1,5 kg de C por cada m de altura	Tanaka y Yamaguchi, 1972

Bt: biomasa total (Kg/árbol); Log: Logaritmo base 10; dap: diámetro (cm) del tronco a la altura del pecho; dap₃₀: diámetro (cm) del tronco a 30cm; alt: altura total (m); V: volumen; Dn: diámetro (cm) de rama o tronco; L: longitud de transecto (m); Ln: logaritmo natural; C: carbono en biomásas; Fc: fracción de carbono (0,5).

Figura 85. Ejemplos de ecuaciones alométricas para estimación de biomasa en sistemas agroforestales.

- Una vez estimada la biomasa, se multiplica por un factor de 0.45 a 0.50 para obtener el contenido de carbono. El IPCC recomienda un valor de 0,47. Además, se puede convertir el carbono en dióxido de carbono equivalente (CO₂) multiplicando por 3.67. Estas mediciones pueden realizarse con métodos tradicionales, como la cinta métrica y el clinómetro, pero también existen aplicaciones móviles que permiten estimar la altura de los árboles con precisión, facilitando las mediciones en campo.

Pagos por servicios ambientales (PSA)

- Se presentaron ejemplos de programas de PSA que han recompensado a los productores por los servicios ambientales que proporcionan sus sistemas agroforestales. En particular, se destacó el éxito de Costa Rica en la implementación de PSA, mencionando que el programa ha apoyado la restauración de la cobertura forestal y el establecimiento de más de seis millones de árboles en sistemas agroforestales. Estos pagos no solo incentivan el secuestro de carbono, sino que también fomentan la conservación de la biodiversidad y la protección de recursos hídricos.
- En el caso del secuestro de carbono, los productores pueden recibir pagos basados en la cantidad de carbono que sus sistemas agroforestales almacenan, lo que les proporciona una fuente adicional de ingresos. El valor del carbono puede calcularse en términos monetarios, y en algunos países, como Nicaragua, se están estableciendo alianzas para mejorar la venta de créditos de carbono en mercados internacionales.

Conclusiones y reflexiones finales

La sesión proporcionó un enfoque práctico y detallado sobre la estimación del carbono en sistemas agroforestales, mostrando que estos sistemas no solo son productivos, sino que también juegan un papel crucial en la mitigación del cambio climático. El uso de ecuaciones alométricas y métodos de muestreo consistentes permite a los productores acceder a programas de PSA, lo que representa una oportunidad económica significativa. El Dr. Cerda enfatizó que, aunque la tecnología está avanzando rápidamente, las mediciones en campo siguen siendo esenciales para garantizar la precisión de los datos y, por lo tanto, la validez de los pagos por servicios ambientales.

Preguntas de evaluación

1	Las áreas de muestreo en parcelas deben ser siempre en forma de rectángulo para tener estimaciones de carbono válidas. <input type="checkbox"/> Verdadero <input type="checkbox"/> Falso
2	Los modelos alométricos son ecuaciones matemáticas que permiten estimar biomasa en función de unas pocas y sencillas variables que se pueden medir en el campo. <input type="checkbox"/> Verdadero <input type="checkbox"/> Falso
3	La fracción para estimar carbono a partir de biomasa aérea puede estar entre 0.35 a 0.40. <input type="checkbox"/> Verdadero <input type="checkbox"/> Falso
4	El carbono se puede estimar en compartimentos como biomasa aérea, hojarasca, necromasa, suelo, raíces. La mayor parte del carbono almacenado está en la biomasa aérea y la hojarasca. <input type="checkbox"/> Verdadero <input type="checkbox"/> Falso
5	En Costa Rica, los incentivos (pagos) para sembrar y mantener árboles en los sistemas agroforestales se mantienen hasta 10 años después de la siembra. <input type="checkbox"/> Verdadero <input type="checkbox"/> Falso

Literatura citada y relacionada con el tema

- Andrade, H. J., Segura, M., & Somarriba, E. (2022). Above-ground biomass models for dominant trees species in cacao agroforestry systems in Talamanca, Costa Rica. *Agroforestry Systems*, 96(4), 787-797. <https://doi.org/10.1007/s10457-022-00741-y>
- Andrade, H., Segura, M., Somarriba, E., & Villalobos, M. (2008). Valoración biofísica y financiera de la fijación de carbono por uso del suelo en fincas cacaoteras indígenas de Talamanca, Costa Rica. <https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/10054>
- Brown, S., & Iverson, L. R. (1992). Biomass estimates for tropical forests. *World Resource Review*, 4(3), 366-383.
- Cairns, M. A., Brown, S., Helmer, E. H., & Baumgardner, G. A. (1997). Root biomass allocation in the world's upland forests. *Oecologia*, 111(1), 1-11. <https://doi.org/10.1007/s004420050201>
- Cerda, R., Ospina, A., Corrales, E., Delgado, D. Hernández, A., Rivas, C., Somarriba, E., y Cifuentes, M. (2018). Informe final de la consultoría: "Evaluación del contenido de biomasa y carbono en cobertura de no bosque (café-Coffea sp, cacao- Theobroma cacao, aguacate-Persea americana, mango-Mangifera indica, coco-Cocos nucifera, pastura y matorral seco) en República Dominicana". CATIE y AGROFORSA.
- Chave, J., Andalo, C., Brown, S., Cairns, M. A., Chambers, J. Q., Eamus, D., Fölster, H., Fromard, F., Higuchi, N., Kira, T., Lescure, J.-P., Nelson, B. W., Ogawa, H., Puig, H., Riéra, B., & Yamakura, T. (2005). Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests. *Oecologia*, 145(1), 87-99. <https://doi.org/10.1007/s00442-005-0100-x>
- Daily, G. C. (Ed.). 1997. *Nature's services. Societal dependence on natural ecosystems*. Island Press, Washington, DC. 392 pp. ISBN 1-55963-475-8 hbk), 1 55963 476 6 (soft cover).
- Goodman, R. C., Phillips, O. L., del Castillo Torres, D., Freitas, L., Cortese, S. T., Monteagudo, A., & Baker, T. R. (2013). Amazon palm biomass and allometry. *Forest Ecology and Management*, 310, 994-1004. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2013.09.045>
- Jadán, O., Cifuentes Jara, M., Torres, B., Selesi, D., Veintimilla Ramos, D. A., & Günter, S. (2015). Influence of tree cover on diversity, carbon sequestration and productivity of cocoa systems in the Ecuadorian Amazon. <https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/8110>
- Segura, M., & Andrade, H. J. (2008). ¿Cómo construir modelos alométricos de volumen, biomasa o carbono de especies leñosas perennes? *Agroforestería de las Américas*. 46. 89-96. <https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/6935>
- Segura, M., Kanninen, M., & Suárez, D. (2006). Allometric models for estimating aboveground biomass of shade trees and coffee bushes grown together. *Agroforestry Systems*, 68(2), 143-150 <https://doi.org/10.1007/s10457-006-9005-x>

El rol de los sistemas agroforestales (SAFS) en programas REDD+

Chelsia Moraes, M.Sc
cmoraes@catie.ac.c

Síntesis de la sesión

Los programas de Reducción de Emisiones Derivadas de la Deforestación y la Degradación Forestal (REDD+) proponen un mecanismo a través del cual se recompensa a los países por conservar los bosques y reducir las emisiones derivadas de su deterioro. En este marco, la agroforestería se perfila como parte de este tipo de programas en su desarrollo potencial, ya que no solo puede contribuir a estos objetivos, sino también a generar beneficios adicionales no relacionados con el carbono y desarrollo sostenible. Algunos de estos beneficios también podrían incluir la mejora simultánea de la adaptación y la mitigación de múltiples maneras (Minang et al., 2014).

Bajo ese contexto, la sesión titulada “El rol de los Sistemas Agroforestales (SAFs) en programas REDD+” abordó cómo los sistemas agroforestales (SAFs) pueden integrarse en las iniciativas REDD+ para mitigar el cambio climático. Se inició con una discusión sobre los conceptos de cambio y variabilidad climática, enfatizando en las definiciones de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC). Se explicó que el cambio climático es atribuido a la actividad humana, mientras que la variabilidad climática se refiere a fluctuaciones más cortas del clima, como las estaciones del año o los eventos climáticos extremos causados por fenómenos como El Niño o La Niña.

Uno de los primeros temas tratados fue el efecto de las actividades humanas sobre las emisiones de gases de efecto invernadero, en particular la combustión de combustibles fósiles, la deforestación y la expansión de la ganadería. Se discutió cómo estas actividades han incrementado la concentración de gases como el dióxido de carbono (CO₂), el metano (CH₄) y el óxido nitroso (N₂O), lo que ha llevado al calentamiento global. Los participantes de la sesión también discutieron cómo la ganadería genera grandes cantidades de metano, contribuyendo significativamente al cambio climático. Los efectos del cambio climático en la agricultura y la naturaleza fueron otro tema clave. Se mencionó que el aumento de la temperatura global afecta no solo a las especies vegetales y animales, sino también a los ecosistemas y las comunidades humanas. La presentación incluyó ejemplos sobre la desaparición de especies y los cambios en los ciclos de crecimiento de los cultivos, lo que afecta la producción de alimentos. En cuanto a la agricultura, el incremento de la temperatura y los fenómenos extremos como sequías e inundaciones se mencionaron como las principales amenazas para la seguridad alimentaria.

La segunda parte de la sesión se centró en el potencial de los sistemas agroforestales (SAFs) para mitigar los efectos del cambio climático. Los SAFs ofrecen múltiples beneficios, como la captura de carbono, la mejora de la fertilidad del suelo y la conservación de la biodiversidad. Además, permiten a los agricultores diversificar sus fuentes de ingresos, proporcionando productos como madera, frutas, miel y otros bienes no maderables. Los SAFs, en comparación con los monocultivos, son más resilientes frente a los fenómenos climáticos extremos y ayudan a reducir la presión sobre los bosques naturales, al incorporar árboles dentro de los sistemas productivos agrícolas.

La sesión mostró algunos ejemplos exitosos de integración de los SAFs en los programas REDD+, como el Programa Amazonia Protegida en Brasil, que combina prácticas agroforestales para reducir la deforestación, y el Proyecto Cordillera Azul en Perú, que utiliza sistemas agroforestales para restaurar paisajes degradados. Estas iniciativas no solo contribuyen a la reducción de emisiones de carbono, sino que también mejoran la sostenibilidad socioeconómica de las comunidades locales al ofrecer alternativas que combinan la producción y la conservación.

Se concluye que la integración de los SAFs en los programas REDD+ ofrece una oportunidad para combinar la conservación de los bosques con el desarrollo rural sostenible, mejorando la calidad de vida de las comunidades y contribuyendo a los objetivos globales de mitigación del cambio climático. La participación activa de los agricultores es esencial para el éxito de estos programas, y se destacó la importancia de continuar fortaleciendo las políticas y el financiamiento que apoyen su implementación y expansión.

Objetivo de la sesión

- El objetivo central de la sesión fue demostrar cómo los sistemas agroforestales (SAFs) pueden desempeñar un papel crucial en las iniciativas REDD+ al mitigar los efectos del cambio climático. La presentación busca destacar las conexiones entre los SAFs y las estrategias globales de reducción de emisiones, subrayando el potencial de estos sistemas para mejorar la sostenibilidad y resiliencia de los ecosistemas productivos, mientras se conservan los recursos forestales y se fomenta la captura de carbono. Asimismo, se busca resaltar la importancia de integrar a las comunidades locales en la implementación de estos programas, asegurando beneficios tanto ambientales como socioeconómicos.

Puntos clave abordados en la sesión

Definición y diferencia entre cambio y variabilidad climática

- El cambio climático es un proceso a largo plazo, definido por la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) como un cambio en el estado del clima, atribuible directa o indirectamente a la actividad humana. Este cambio se caracteriza por la alteración de la composición de la atmósfera, lo cual exacerba la variabilidad natural del clima.
- En contraste, la variabilidad climática se refiere a fluctuaciones más cortas en las condiciones climáticas, como las variaciones estacionales o los fenómenos naturales como El Niño y La Niña. Esta distinción es esencial para entender los impactos a corto y largo plazo, y cómo las intervenciones en los sistemas agroforestales pueden responder a ambas dimensiones.
- Durante la sesión, los participantes discutieron que la variabilidad climática se manifiesta en fenómenos meteorológicos observables en períodos cortos, como las diferencias entre estaciones y eventos como las tormentas tropicales y los huracanes, mientras que el cambio climático se evidencia a lo largo de décadas o siglos.

Factores que incrementan las emisiones de gases de efecto invernadero

- La sesión subrayó las principales causas antropogénicas del incremento de gases de efecto invernadero, enfocándose en actividades humanas que producen grandes emisiones de CO₂, CH₄ y N₂O. Entre los principales factores mencionados estuvieron:
 - **Quema de combustibles fósiles:** Principal responsable de la producción de dióxido de carbono, el gas de efecto invernadero más abundante. Esta actividad incluye la generación de energía y el transporte.
 - **Deforestación:** Cuando los árboles son talados, se libera el carbono almacenado en su biomasa. Además, la deforestación reduce la capacidad de los ecosistemas para secuestrar carbono.

- **Expansión de la ganadería:** Las vacas y ovejas producen grandes cantidades de metano durante su digestión, un gas con un potencial de calentamiento global mucho mayor que el CO₂.
- **Uso de fertilizantes nitrogenados:** Estos liberan óxido nitroso, un gas de efecto invernadero muy potente, que contribuye significativamente al calentamiento global.
- Se hizo énfasis en la importancia de reducir estas actividades o compensar sus impactos a través de la implementación de prácticas sostenibles, como la agroforestería, que tiene el potencial de mitigar algunos de estos efectos, como la captura de carbono en el suelo y los árboles.

Efectos del cambio climático y papel de los bosques en las estrategias de adaptación y mitigación

- La sesión cubrió un amplio espectro de los efectos del cambio climático en diferentes esferas. A nivel global, el aumento del nivel del mar debido al deshielo de glaciares está poniendo en riesgo ciudades costeras y comunidades enteras. Tormentas más severas y frecuentes, como huracanes y ciclones, son una consecuencia directa del calentamiento de los océanos.
- En el ámbito agrícola, se discutieron los impactos negativos sobre la producción de alimentos, tales como la reducción de la disponibilidad de agua debido a la disminución de los caudales de los ríos y la mayor frecuencia de sequías. Esto afecta la distribución geográfica de los cultivos, como el café, que es particularmente sensible a los cambios de temperatura y precipitación.
- La sesión también señaló cómo el cambio climático ha incrementado la incidencia de plagas y enfermedades, tanto en las plantas como en los seres humanos, lo que presenta un desafío adicional para la seguridad alimentaria y la salud pública.
- La sesión destacó que los ecosistemas naturales son una fuente importante de protección y adaptación al cambio climático, ya que contribuyen, entre otros, a moderar eventos climáticos extremos, a regular el clima y a absorber emisiones de carbono.

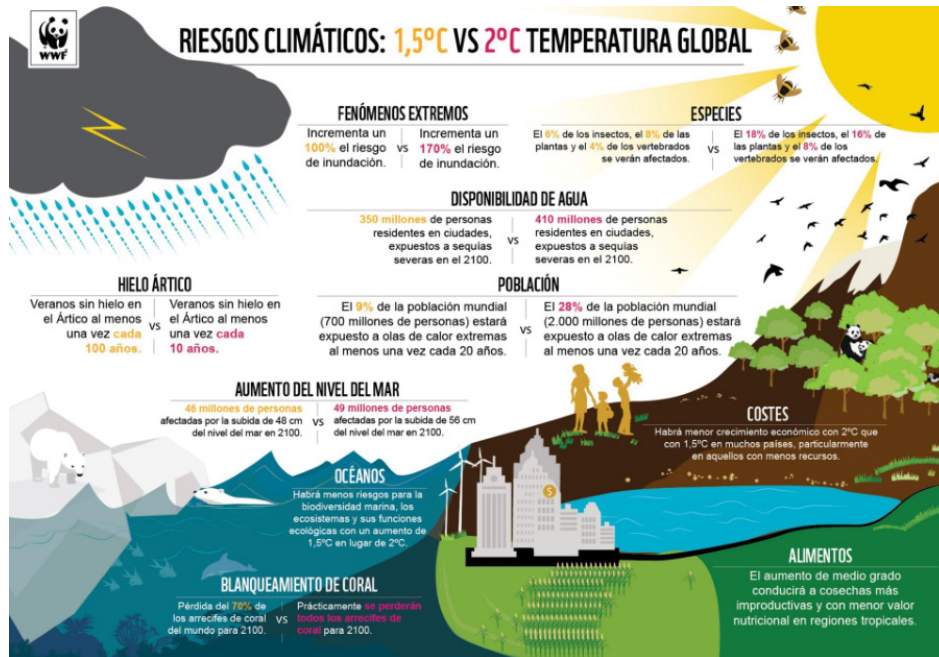


Figura 86. Efectos del cambio climático sobre las comunidades humanas.

- Se estima que alrededor de un tercio de la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero que se necesitan en la próxima década podrían lograrse mejorando la capacidad de la naturaleza, en especial, los bosques para absorber las emisiones, un hecho que beneficia a América Latina y el Caribe.
- Bajo esta premisa surge el enfoque de bosques modelo, el cual fue desarrollado e implementado por primera vez por el Gobierno de Canadá a principios de la década de 1990 en diez sitios en ese país. Este enfoque surgió como respuesta a conflictos en el sector forestal de Canadá en un momento en que los ambientalistas, los gobiernos, los pueblos indígenas, las comunidades y los trabajadores forestales luchaban por los recursos forestales y por la forma de gestionarlos de manera sustentable.

- Actualmente, los Bosques Modelo son procesos sociales, inclusivos y participativos que procuran el desarrollo sostenible de un territorio y por lo tanto contribuyen a alcanzar objetivos globales de reducción de pobreza, cambio climático, lucha contra la desertificación y metas de desarrollo sostenible.



Figura 87. Contribución de los bosques al secuestro de carbono.

Beneficios de los sistemas agroforestales (SAFs)

- En este contexto, se los SAFs se presentaron como una solución integral para enfrentar los desafíos del cambio climático, ya que ofrecen múltiples beneficios ambientales y económicos. Uno de los aspectos más destacados fue su capacidad para capturar carbono, ya que los árboles en estos sistemas absorben CO₂ de la atmósfera y lo almacenan en su biomasa y en el suelo.
- Además, los SAFs mejoran la fertilidad del suelo mediante la incorporación de materia orgánica, lo que ayuda a reducir la erosión y mejora la retención de agua, especialmente importante en áreas propensas a la sequía.
- Otro beneficio clave es la conservación de la biodiversidad, ya que los SAFs crean hábitats diversificados que fomentan la coexistencia de una amplia gama de especies, lo que a su vez fortalece la resiliencia de los sistemas agrícolas frente a las perturbaciones climáticas.
- Además, los SAFs ofrecen ventajas económicas para los agricultores, ya que les permiten diversificar sus fuentes de ingresos. Por ejemplo, los sistemas que combinan la producción de cultivos con árboles frutales o maderables no solo garantizan una producción continua de alimentos, sino también ingresos adicionales provenientes de la venta de productos no maderables, como la goma, frutas y miel. Este enfoque también reduce la dependencia de los monocultivos, lo que disminuye el riesgo financiero en caso de condiciones climáticas adversas.

Iniciativas REDD+

- Los programas de Reducción de las emisiones derivadas de la deforestación y la degradación de los bosques (REDD+) nacieron por parte de Costa Rica y Papúa Guinea en el 2005 dentro de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), en la 11ra Conferencia de las Partes (COP 11, Montreal, Canadá).

- Este tipo de programas, la reducción de las emisiones debidas a la deforestación y la degradación de los bosques (REDD+), además de la gestión sostenible de los mismos y de la conservación y mejora de las reservas de carbono, constituye una parte fundamental de los esfuerzos globales por mitigar el cambio climático. Esto también implica que cuando los bosques son talados o degradados, pueden convertirse en fuente de emisiones de gases de efecto invernadero, liberando ese carbono almacenado.
- Se destaca que estos programas se enmarcan en cinco actividades acordadas a nivel mundial, que contribuyen a las medidas de mitigación en el sector forestal:
 1. Reducción de las emisiones debidas a la deforestación
 2. Reducción de las emisiones debidas a la degradación forestal
 3. Conservación de las reservas forestales de carbono
 4. Incremento de las reservas forestales de carbono
 5. Ordenación forestal sostenible.

Integración de SAFs en REDD+

- En la sesión se subrayó cómo los SAFs pueden integrarse eficazmente en los programas REDD+, cuyo objetivo es reducir las emisiones provenientes de la deforestación y degradación de los bosques. Se mencionó que los SAFs ayudan a reducir la presión sobre los bosques naturales, ya que permiten a los agricultores satisfacer sus necesidades de producción sin necesidad de expandir las áreas de cultivo a zonas forestales. Al incorporar árboles en tierras agrícolas, los SAFs fomentan la gestión sostenible del paisaje, promoviendo prácticas agrícolas que reducen las emisiones de gases de efecto invernadero y mejoran la captura de carbono.
- También se discutió cómo los SAFs pueden contribuir a la reforestación, especialmente en áreas degradadas, y cómo estos sistemas pueden alinearse con los objetivos de REDD+ para conservar los bosques y aumentar las reservas de carbono. Un ejemplo concreto fue el de los sistemas agroforestales de cacao, que cumplen con los criterios de cobertura forestal de REDD+ y permiten la producción agrícola de manera sostenible mientras conservan la biodiversidad y capturan carbono.

Ejemplos de iniciativas REDD+ mencionadas en la sesión

- **Brasil:** Programa Amazonia Protegida: Este programa busca reducir la deforestación en la región amazónica mediante la incorporación de prácticas agroforestales. Al integrar los SAFs, se proporciona una fuente sostenible de ingresos para las comunidades locales, lo que reduce la presión para talar bosques. Además, el programa promueve la conservación de los recursos hídricos y la biodiversidad.
- **Colombia:** Proyectos en la región de la Orinoquía: Estos proyectos combinan el cultivo de cacao con la reforestación de áreas degradadas. La iniciativa se centra en la restauración de paisajes productivos y en la creación de corredores biológicos para conectar fragmentos de bosques, lo que ayuda a conservar la biodiversidad y facilita la captura de carbono.
- **Perú:** Proyecto Cordillera Azul: Esta iniciativa ha integrado sistemas agroforestales para mejorar los medios de vida rurales mientras se protege el bosque de la Cordillera Azul. Los agricultores participan activamente en la reforestación y el manejo de los recursos forestales, al mismo tiempo que obtienen ingresos de productos maderables y no maderables. El proyecto también se ha enfocado en la conservación de especies en peligro y la recuperación de áreas críticas de biodiversidad.
- **Côte d'Ivoire:** Proyecto Cocoa Life: Esta iniciativa piloto sobre pago por servicios ambientales (PES) busca incentivar la conservación de los bosques mediante el cultivo de cacao en áreas clave para la conservación forestal. El proyecto comenzó en 2018 y tiene como objetivos la restauración de áreas degradadas, la promoción de la participación comunitaria, y la creación de oportunidades para las mujeres dentro de las comunidades productoras de cacao.
- **Ghana y Côte d'Ivoire:** Cocoa & Forests Initiative: Este es un acuerdo de acción conjunta para detener la deforestación y la degradación forestal en la cadena de suministro del cacao. A través de la creación de SAFs, los pequeños agricultores combinan la producción de cacao con la reforestación, lo que ayuda a reducir las emisiones de CO₂ y a mejorar los medios de vida de las comunidades. Esta iniciativa cuenta con el apoyo financiero de socios internacionales, como P4F, BUZA y SECO.

Conclusiones y reflexiones finales

La sesión concluyó destacando la relevancia de los sistemas agroforestales como una solución integrada para la mitigación y adaptación al cambio climático. Los SAFs no solo ayudan a capturar carbono y mejorar la sostenibilidad de los ecosistemas, sino que también proporcionan beneficios socioeconómicos tangibles para las comunidades rurales. Se enfatizó que la implementación exitosa de programas REDD+ depende de la participación activa de las comunidades locales, ya que estas son las principales beneficiarias de las mejoras en el manejo del paisaje y la diversificación de ingresos.

Los SAFs también fueron presentados como una herramienta para mejorar la seguridad alimentaria, ya que diversifican los productos agrícolas y reducen los riesgos asociados a la dependencia de monocultivos. Además, la presentación hizo hincapié en la importancia de integrar los SAFs en las políticas nacionales y de asegurar que se disponga de mecanismos financieros adecuados para apoyar su implementación.

Preguntas de evaluación

1	El Metano (CH ₄) no es un Gas Efecto Invernadero (GEI). <input type="checkbox"/> Verdadero <input type="checkbox"/> Falso
2	La sequía extrema es un efecto del Cambio Climático. <input type="checkbox"/> Verdadero <input type="checkbox"/> Falso
3	Los SAF contribuyen de manera significativa a la conservación de suelos y captura de carbono. <input type="checkbox"/> Verdadero <input type="checkbox"/> Falso
4	REDD+ surge para evitar la deforestación, y también promueve el manejo sostenible de bosques <input type="checkbox"/> Verdadero <input type="checkbox"/> Falso
5	Los SAF no pueden hacer parte de programas REDD+. <input type="checkbox"/> Verdadero <input type="checkbox"/> Falso

Literatura citada y relacionada con el tema

Fernández Kolb, P., Castro-Llanos, F. A., Martínez Valle, A. I., Siles, P., Läderach, P. R. D., Lundy, M. M., & Bunn, C. (2019). Café sostenible adaptado al clima en El Salvador. <https://hdl.handle.net/10568/105524>

Minang, P. A., Duguma, L. A., Bernard, F., Mertz, O., & van Noordwijk, M. (2014). Prospects for agroforestry in REDD+ landscapes in Africa. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 6, 78-82. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2013.10.015>

Recursos y herramientas para la enseñanza y adaptación al cambio climático

Viviana Medina Rodríguez, PhD.
viviana.medinarodriguez@usda.gov

Síntesis de la sesión

El Centro Climático del Caribe (CCH) es uno de los 10 centros regionales de Puerto Rico que trabaja con el USDA para brindar conocimiento basado en la ciencia e información práctica a agricultores, ganaderos y propietarios de tierras forestales para facilitar la adaptación al cambio climático y a la variabilidad meteorológica mediante la coordinación con socios locales y regionales en agencias federales y estatales, universidades y el público. Bajo ese marco, la sesión titulada “Recursos y herramientas para la enseñanza y adaptación al cambio climático” abordó las herramientas y recursos desarrollados por este centro para ayudar tanto a productores como administradores de tierras agrícolas y bosques a construir resiliencia ante las amenazas que representan los fenómenos meteorológicos extremos.

En la sesión, se discutieron las tendencias climáticas observadas en Puerto Rico y el Caribe, como el aumento de temperaturas nocturnas y la variabilidad en las precipitaciones, y cómo estos cambios están afectando cultivos como el café y el cacao. En ese sentido, una de las herramientas clave presentadas fue la Herramienta de Planificación Agrícola, que permite a los agricultores obtener información detallada sobre el clima y el suelo de sus terrenos, ayudando a tomar decisiones informadas sobre el manejo de las fincas. También se destacó la plataforma CMOR, una iniciativa de ciencia ciudadana

donde los agricultores pueden reportar condiciones de sequía, contribuyendo a mejorar el monitoreo en tiempo real de los cambios climáticos en la región.

El Proyecto Caribe Climáticamente Inteligente fue un enfoque central en la sesión. Este proyecto tiene tres pilares: aprendizaje, acción y evaluación. A través de talleres, educación y la implementación de prácticas adaptativas como el uso de cultivos de cobertura y sistemas de riego, se busca aumentar la resiliencia de los agricultores frente a los impactos del cambio climático. Además, se evalúa la efectividad de estas prácticas para ajustar y mejorar continuamente las estrategias de adaptación.

Durante la sesión también se presentaron herramientas educativas innovadoras, como el Juego Caribe Climáticamente Inteligente, que simula los desafíos del cambio climático para ayudar a los agricultores a aprender sobre la resiliencia de manera interactiva. Las Mochilas Climáticas, dirigidas a niños y adultos, incluyen materiales educativos que explican los impactos del cambio climático de manera práctica y visual.

También se abordó el Proyecto de Adaptación en Terrenos Agrícolas y Boscosos del Caribe, que ofrece un enfoque participativo para que los agricultores evalúen sus vulnerabilidades frente al cambio climático e implementen soluciones adaptativas. Este proyecto incluye guías y hojas informativas que brindan recomendaciones concretas para mejorar la sostenibilidad agrícola en la región.

La sesión concluye destacando la importancia de la colaboración y la adopción de tecnologías y prácticas innovadoras para enfrentar los efectos del cambio climático en la agricultura del Caribe. Las herramientas digitales, los proyectos educativos y las iniciativas participativas ofrecen un enfoque integral para aumentar la resiliencia de las fincas frente a las condiciones climáticas adversas. La implementación de estas estrategias no solo ayuda a mitigar los impactos inmediatos del cambio climático, sino que también prepara a los agricultores para los desafíos futuros, promoviendo una agricultura más sostenible y adaptada a las nuevas realidades climáticas.

Objetivo de la sesión

- El objetivo central fue presentar los recursos y herramientas desarrollados por el Centro Climático del Caribe y otras entidades, con el propósito de apoyar a los agricultores en la adaptación al cambio climático. Se buscó crear conciencia sobre las tendencias actuales de cambio climático en la región del Caribe, proporcionar acceso a herramientas que faciliten la planificación y mitigación de riesgos, y compartir experiencias exitosas de implementación de medidas adaptativas.

Puntos clave abordados en la sesión

Tendencias climáticas en el Caribe

- La sesión se centró en las tendencias climáticas observadas en Puerto Rico, que sirven como referencia para el resto del Caribe. Uno de los principales cambios mencionados fue el aumento sostenido de las temperaturas nocturnas, especialmente en áreas costeras, que ha sido un factor clave desde el año 2000.

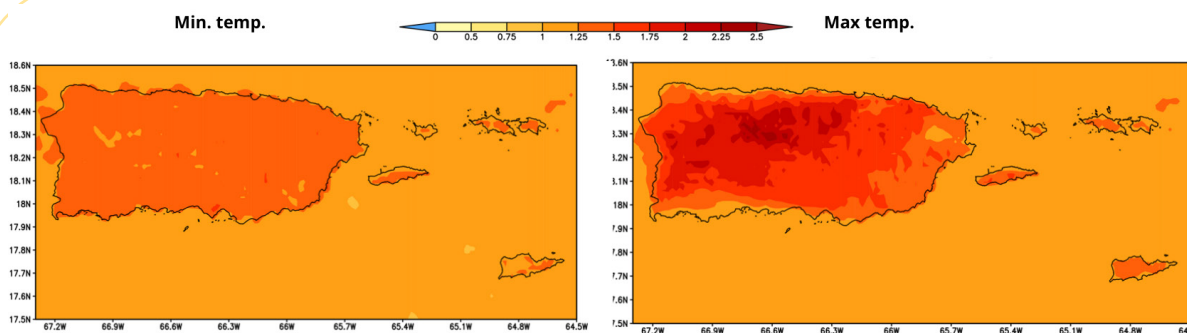


Figura 88. Cambios en las temperaturas máximas y mínimas al periodo 2041-2060 en Puerto Rico.

- Este aumento de temperatura afecta negativamente a cultivos como el café y el cacao, los cuales requieren de temperaturas más frescas durante la noche para un desarrollo óptimo. Desde 2010, se han registrado los años más calurosos de los últimos 142 años, con un incremento sostenido en las noches extremadamente calurosas, lo que afecta tanto el rendimiento agrícola como la floración y la salud del suelo.
- En el caso de la lluvia, si bien no se han observado tendencias claras en la cantidad promedio en Puerto Rico y el Caribe en los últimos 30 años, la sesión destacó importantes cambios en los patrones de distribución de las lluvias y las implicaciones de esta variabilidad climática para la agricultura. Un aspecto crucial es la alteración en las estaciones de lluvias y sequías, lo que ha provocado periodos de sequía más prolongados, seguidos de eventos de lluvia torrencial que han tenido consecuencias significativas en la erosión del suelo y los deslizamientos, especialmente en las áreas montañosas.
- En las zonas cafetaleras y cacaoteras, que dependen casi exclusivamente de la precipitación debido a la falta de sistemas de riego, estos cambios han sido particularmente problemáticos. La variabilidad en los patrones de lluvias ha afectado la floración de cultivos clave como el café, provocando floraciones desincronizadas o múltiples floraciones en un mismo año. Esto ha alterado los ciclos normales de producción y ha complicado las labores de cosecha, con granos de café en diferentes grados de maduración al mismo tiempo, lo que impacta negativamente tanto la calidad como la cantidad de la cosecha.
- Otro impacto significativo de los cambios en la precipitación es la reducción en la capacidad del suelo para retener humedad, lo que ha contribuido al deterioro de las condiciones para los cultivos que son particularmente sensibles a la falta de agua, como el café y el cacao. Las lluvias torrenciales, que siguen a largos periodos de sequía, no solo erosionan los suelos, sino que también impiden que el agua se infiltre adecuadamente, provocando una mayor escorrentía superficial y una menor recarga de acuíferos y cuerpos de agua subterráneos.

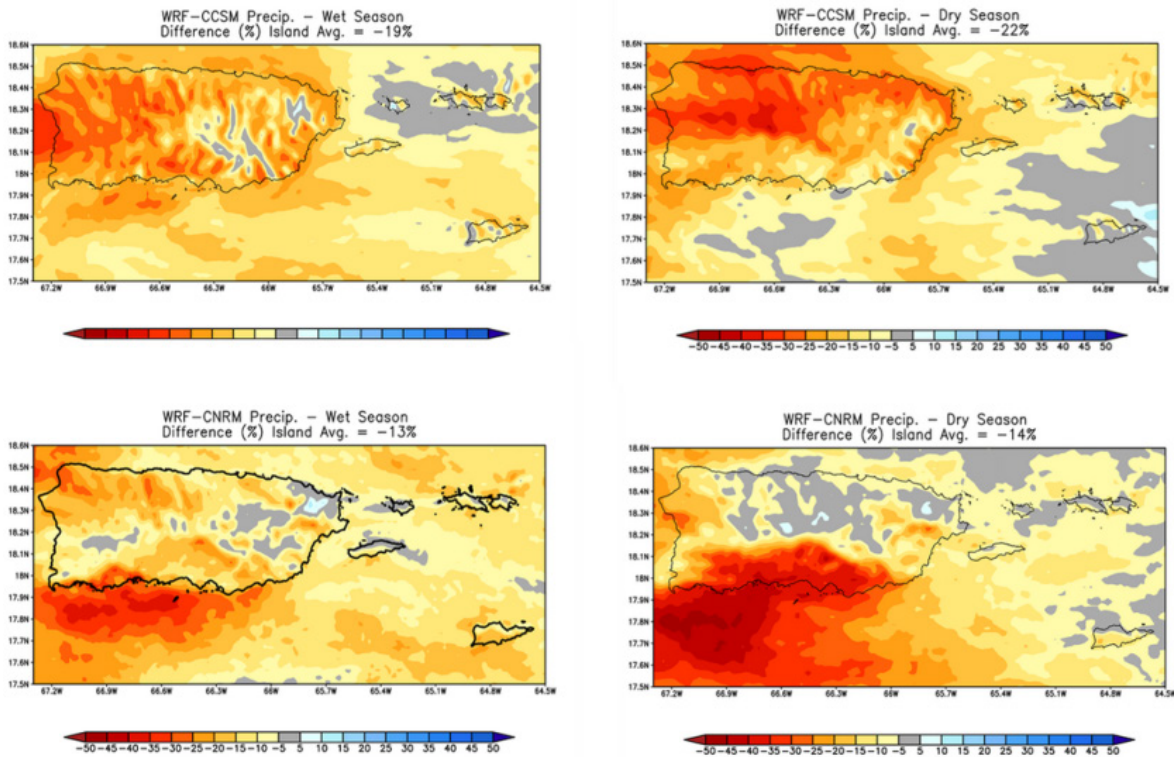


Figura 89. Resultados de la simulación de dos modelos climáticos para proyectar la anomalía de precipitación en época seca y lluviosa para el periodo 2041-2060 en Puerto Rico.

- Los escenarios futuros indican que esta tendencia de menor precipitación, tanto en la temporada seca como en la de lluvias, se intensificará para el período 2041-2060. Las proyecciones señalan una disminución del 13% al 22% en la precipitación promedio, con un aumento simultáneo de eventos extremos de lluvia. Estos cambios representan un desafío considerable para la planificación agrícola en el Caribe, ya que los agricultores no solo deben prepararse para períodos de sequía más prolongados, sino también para lidiar con lluvias intensas que aumentan los riesgos de deslizamientos e inundaciones.

Herramientas de adaptación

Se presentaron varias herramientas digitales diseñadas para ayudar a los agricultores a enfrentar los retos del cambio climático. La Herramienta de Planificación Agrícola³ permite a los usuarios generar un reporte sobre las características climáticas e hidrológicas de su terreno, utilizando datos históricos que incluyen patrones de precipitación, tipos de suelo y elevaciones del terreno. Esta herramienta es fundamental para planificar el uso de la tierra de manera sostenible y adaptativa, especialmente en áreas vulnerables a las sequías o inundaciones.



Figura 90. Vista del sitio web de la herramienta de planificación agrícola.

3 <https://farm.caribbeanclimatehub.org/>

- Otra herramienta destacada es CMOR⁴, una plataforma de ciencia ciudadana en la que los agricultores pueden participar activamente reportando las condiciones de sequía en sus fincas. Los usuarios pueden cargar fotos y descripciones de los impactos en sus cultivos, y estos datos se validan para crear informes bimensuales que se comparten con los agricultores, extensionistas y científicos. Esta iniciativa de ciencia ciudadana no solo mejora el monitoreo de las condiciones climáticas en tiempo real, sino que también involucra directamente a los productores en la generación de conocimiento útil para su propia toma de decisiones.

Drought Impacts Toolkit

Home Tools Emerging Impacts Impact Assessments

Submit and view Condition Monitoring Observer Reports (CMOR) [Home](#) / [Tools](#) / CMOR

You can use the Condition Monitoring Observer Reports (CMOR) system to report drought-related conditions and impacts within the U.S. and its territories. This is a nation-wide service provided by the National Drought Mitigation Center, based at the University of Nebraska-Lincoln, developed in partnership with the National Integrated Drought Information System and the U.S. Department of Agriculture. Your report will become part of the permanent record, appearing immediately on an interactive map visible to the public, including authors of the U.S. Drought Monitor and the media.

CMOR Desktop and Mobile Options

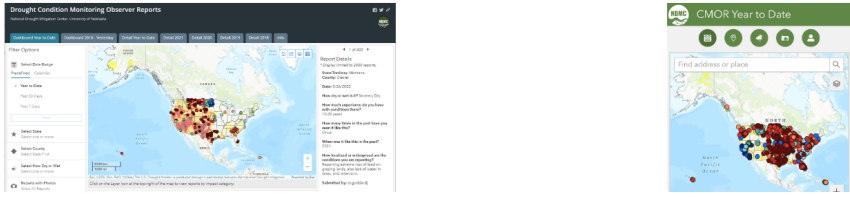


Figura 91. Vista del sitio web de la herramienta CMOR.

4 <https://droughtimpacts.unl.edu/tools/conditionmonitoringobservations.aspx>

Proyecto Caribe Climáticamente Inteligente

- Se destacó el caso del Proyecto Caribe Climáticamente Inteligente, el cual es una iniciativa integral diseñada para apoyar la adaptación de los agricultores del Caribe frente a los crecientes desafíos del cambio climático.
- Este proyecto, liderado por el Centro Climático del Caribe en colaboración con diversas agencias e instituciones, tiene como objetivo principal incrementar la resiliencia climática en la agricultura mediante la educación, la implementación de prácticas adaptativas y la creación de redes de apoyo. El proyecto se estructura en torno a tres pilares clave:
 - 1. Aprendizaje:** Este pilar se centra en la alfabetización climática, brindando a los agricultores y actores clave del sector agrícola los conocimientos necesarios para comprender los efectos del cambio climático en su región y las soluciones disponibles para mitigar estos impactos. A través de talleres, seminarios y materiales educativos, se busca aumentar la conciencia sobre las tendencias climáticas actuales y futuras, así como sobre las prácticas de manejo agrícola que pueden reducir la vulnerabilidad frente a estos cambios.
 - 2. Acción:** El segundo pilar del proyecto se enfoca en la implementación práctica de soluciones basadas en el conocimiento adquirido. Esto incluye la promoción de prácticas agrícolas inteligentes desde el punto de vista climático, tales como la reforestación, el uso de coberturas, la rotación de cultivos, y la mejora en la gestión del agua mediante sistemas de riego eficientes. Además, se fomenta la adopción de tecnologías que permitan a los agricultores monitorear y gestionar mejor sus fincas frente a los fenómenos climáticos extremos.
 - 3. Evaluación:** Este pilar tiene como objetivo evaluar de manera constante la efectividad de las estrategias implementadas. Mediante el seguimiento y la recopilación de datos, el proyecto mide el impacto de las prácticas de adaptación en las fincas y ajusta las recomendaciones según los resultados obtenidos. Esta retroalimentación constante garantiza que las intervenciones no solo sean eficaces, sino también ajustadas a las realidades cambiantes del clima y las necesidades de los agricultores.

- Un componente destacado del proyecto es la Red Caribeña de Aprendizaje sobre Salud del Suelo, que organiza eventos periódicos donde se muestran ejemplos de éxito en la mejora de la productividad y la resiliencia de las tierras agrícolas. Esta red facilita el intercambio de conocimientos entre agricultores, extensionistas y científicos, creando una comunidad comprometida con la adaptación y la sostenibilidad a largo plazo.
- Este proyecto no solo busca capacitar a los agricultores en la adopción de prácticas climáticamente inteligentes, sino también crear un espacio de interacción entre las agencias gubernamentales, organizaciones internacionales y los propios productores. Mediante eventos como los de One USDA, los agricultores tienen la oportunidad de compartir sus experiencias y aprender de las mejores prácticas implementadas por otros en la región, fomentando una red sólida de apoyo y colaboración.

Ciencia ciudadana y participación agrícola

- Un aspecto fundamental del trabajo del Centro Climático del Caribe es el involucramiento de los agricultores en la recopilación de datos y la toma de decisiones. A través de la iniciativa CMOR y otras plataformas digitales, los agricultores no solo reciben información útil sobre las condiciones climáticas, sino que también contribuyen con datos desde sus propias fincas. Esta participación activa fomenta una mayor comprensión de los patrones climáticos locales y permite ajustar las prácticas agrícolas en función de los cambios observados.
- Un ejemplo claro es la distribución de pluviómetros a los agricultores, quienes pueden medir la precipitación en sus terrenos y contribuir con sus observaciones a un sistema más amplio de monitoreo. Esta iniciativa ha tenido gran éxito, en parte gracias a la facilidad de uso de la tecnología y al acceso que los agricultores tienen a teléfonos inteligentes. Como resultado, se ha logrado crear una red de monitoreo agrícola que ha mejorado tanto la planificación como la respuesta a los eventos climáticos extremos.

Herramientas educativas

- Se destacó la importancia de algunas herramientas educativas innovadoras diseñadas para aumentar la conciencia climática y la comprensión de las prácticas resilientes entre los agricultores y las generaciones más jóvenes. Dos de las iniciativas más llamativas en este aspecto son el Juego Caribe Climáticamente Inteligente y las Mochilas Climáticas.
- El Juego Caribe Climáticamente Inteligente, inspirado en un formato similar al juego de mesa “Jumanji”, simula los desafíos a los que se enfrentan los agricultores en un clima cambiante. El juego tiene como objetivo educar a los participantes sobre la toma de decisiones en la gestión de sus fincas, considerando factores como el uso del suelo, la resiliencia frente a desastres naturales y la sostenibilidad del manejo agrícola. Los jugadores deben elegir cómo asignar diferentes áreas de sus tierras a actividades como la agricultura industrial, el silvopastoreo o la agroforestería, mientras implementan prácticas resilientes que les ayuden a superar eventos climáticos adversos, como sequías o huracanes.



Figura 92. Caribbean Climate Resilience Game.

- Por otro lado, las Mochilas Climáticas son un recurso educativo diseñado para ayudar tanto a niños como a adultos a comprender los impactos del cambio climático de manera tangible y participativa. Estas mochilas contienen kits educativos y herramientas que pretenden enseñar sobre el cambio climático no desde una perspectiva negativa, sino con esperanza, a través del arte, las actividades y los juegos.

Proyecto Adaptación en terrenos agrícolas y boscosos del Caribe

- El Proyecto de Adaptación en Terrenos Agrícolas y Boscosos del Caribe fue un aspecto clave abordado en la sesión, enfocado en ayudar a agricultores y propietarios de tierras a manejar los impactos del cambio climático en sus fincas y bosques, particularmente en Puerto Rico, San Tomás, San Juan y San Croix.
- Este proyecto, liderado por el Centro Climático del Caribe en colaboración con agencias federales y agricultores locales, se destaca por su enfoque participativo, en el que los productores juegan un papel activo en la identificación de sus vulnerabilidades y en la implementación de soluciones adaptativas. El proyecto está basado en un enfoque de cinco pasos diseñado para guiar a los agricultores y propietarios de terrenos a través del proceso de adaptación climática:
 - 1. Definición de metas y características del paisaje:** El primer paso consiste en que los agricultores definan claramente sus objetivos para el manejo de la tierra, considerando tanto la producción agrícola como la conservación de los recursos naturales. A partir de aquí, se realiza un análisis del paisaje para comprender mejor las condiciones climáticas y ecológicas del terreno.
 - 2. Análisis de impactos climáticos y vulnerabilidades:** Una vez identificadas las características del terreno, se analizan los impactos del cambio climático en la zona. Esto incluye la evaluación de factores como el aumento de temperaturas, la reducción de precipitación y los riesgos de fenómenos climáticos extremos, con el fin de entender cómo estos cambios pueden afectar las metas agrícolas y forestales.

3. **Evaluación de los objetivos frente a los escenarios climáticos:** En este paso, los agricultores revisan y ajustan sus objetivos iniciales en función de los escenarios climáticos proyectados. Se trata de un proceso reflexivo en el que los productores evalúan si sus metas son viables dadas las proyecciones de cambio climático, o si necesitan adaptarse para mejorar su capacidad de resiliencia.
 4. **Identificación de prácticas de adaptación climática:** Basado en el análisis de vulnerabilidades, se identifican y seleccionan prácticas adaptativas que puedan reducir los riesgos futuros. Estas prácticas incluyen la reforestación, el uso de cobertoras para mejorar la retención de humedad, la implementación de sistemas de riego eficientes y la diversificación de cultivos para reducir la exposición a fenómenos extremos.
 5. **Monitoreo y evaluación de la efectividad:** Finalmente, el proyecto enfatiza la importancia de monitorear continuamente la efectividad de las prácticas de adaptación implementadas. Esto permite hacer ajustes en función de los resultados y mejorar continuamente la capacidad de resiliencia del terreno.
- Como resultado del proyecto, se elaboraron varias herramientas prácticas, incluidas guías de adaptación específicas para diferentes tipos de producción agrícola, como cacao, café, ganadería y hortalizas. Estas guías, diseñadas en un lenguaje accesible y contextualizadas a las realidades del Caribe, ofrecen recomendaciones prácticas para reducir las vulnerabilidades y mejorar la capacidad adaptativa de las fincas y los terrenos boscosos.
 - Además, se crearon hojas informativas que sintetizan información científica relevante de manera simple y comprensible, enfocándose en temas como la conservación del suelo, la reducción de la erosión y la gestión de riesgos climáticos en la agricultura. Estas hojas y guías están disponibles gratuitamente y permiten a los agricultores acceder a conocimientos clave para la adaptación, sin depender de altos costos o tecnologías complejas (Figura 93).

Hoja informativas



<https://caribbeanclimatehub.org/resources/publications/factsheets-infographics/>

Figura 93. Hojas informativas desarrolladas en el marco del proyecto Adaptación en terrenos agrícolas y boscosos del Caribe.

Experiencias exitosas de adaptación agrícola

- La sesión concluyó con ejemplos de fincas en Puerto Rico y las Islas Vírgenes que han implementado con éxito prácticas de adaptación al cambio climático. Se mencionaron varias prácticas, como la siembra de coberturas (por ejemplo, maní forrajero), que ayudan a fijar nitrógeno en el suelo y a controlar la erosión. También se destacó el uso de sistemas de riego para mitigar los efectos de las sequías, y la importancia de establecer áreas de sombra para reducir el estrés térmico en el ganado y mejorar la producción.
- Un ejemplo específico es la finca de cacao mencionada en el video, donde se han implementado zanjas de contorno y terrazas de captación para manejar el agua de manera más eficiente, reduciendo la erosión y mejorando la salud del suelo. Además, la finca ha incorporado variedades forestales estratégicamente colocadas para proporcionar sombra y evitar deslizamientos. Estos esfuerzos han resultado en un sistema agroforestal más resiliente, capaz de mantener una producción estable a pesar de los desafíos climáticos.

Conclusiones y reflexiones finales

El cambio climático está transformando las condiciones agrícolas en el Caribe, afectando tanto la producción como la viabilidad a largo plazo de las fincas. La colaboración entre agricultores, científicos y agencias es clave para mitigar los impactos más graves, mediante el uso de herramientas tecnológicas y proyectos de ciencia ciudadana, que permiten a los agricultores ser más resilientes y tomar decisiones informadas.

El enfoque participativo, como la recolección de datos a través de ciencia ciudadana, ha demostrado ser efectivo para gestionar los recursos agrícolas en tiempo real. Las experiencias exitosas de adaptación, como el uso de coberturas, sistemas de riego, recolección de datos climáticos, entre otras, demuestran que la adopción de prácticas resilientes no solo es posible, sino también económicamente viable.

Además, el cambio climático también afecta a las personas, subrayando la necesidad de mejorar las condiciones laborales de los trabajadores agrícolas, quienes son especialmente vulnerables a condiciones extremas. Iniciativas como las mochilas climáticas y los módulos de alfabetización ayudan a educar a agricultores, familias y nuevas generaciones, fomentando una cultura de adaptación que es esencial para enfrentar los desafíos futuros.

Preguntas de evaluación

1	El centro climático es uno de 10 centro regionales y uno internacional que son parte de la USDA en apoya a la adaptación climática. <input type="checkbox"/> Verdadero <input type="checkbox"/> Falso
2	El módulo de alfabetización climática es solo para personal del USDA. <input type="checkbox"/> Verdadero <input type="checkbox"/> Falso
3	Las guías de adaptación fueron creadas con participación y en comunicación con las comunidades regionales. <input type="checkbox"/> Verdadero <input type="checkbox"/> Falso
4	Jorge Morales, cacaotero, no ha podido implementar medidas de adaptación hacia un clima cambiante. (segundo video que vimos) <input type="checkbox"/> Verdadero <input type="checkbox"/> Falso
5	Una medida de adaptación es el establecimiento de plantas cobertoras. <input type="checkbox"/> Verdadero <input type="checkbox"/> Falso

Literatura citada y relacionada con el tema

Caribbean Climate Hub (Director). (2023, septiembre 25). *Finca Atabey | Santa Isabel, Puerto Rico. Resiliencia climática, prácticas de conservación* [Video recording].
<https://www.youtube.com/watch?v=klxhcPolTOE>

Caribbean Climate Hub (Director). (2024). *Rancho AA | Sabana grande (Español)* [Video recording].
<https://www.youtube.com/watch?v=BtcGlpWzFFs>

Crespo-Vélez, S.; Guzmán-Colón, D.; Arzola, C.; De la Torre, J.; Gould, W. (2024). Prácticas para manejar impactos climáticos: Aves. In Guía de adaptación: Cambio climático en fincas y terrenos boscosos del Caribe. San Juan, PR: Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, Instituto Internacional de Dasonomía Tropical.
<https://caribbeanclimatehub.org/wp-content/uploads/2024/06/folletoaves4.1.pdf>

- Crespo-Vélez, S.; Guzmán-Colón, D.; Fernández Robles, Delvin L.; Gould, W. (2024). Prácticas para manejar impactos climáticos: Café. In Guías de adaptación: Cambio climático en fincas y terrenos boscosos del Caribe. San Juan, PR: Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, Instituto Internacional de Dasonomía Tropical.
<https://caribbeanclimatehub.org/wp-content/uploads/2024/06/folletocafe.2.pdf>
- Crespo-Vélez, S.; Guzmán-Colón, D.; Gonzalez-Rivera O.; Gould, W. (2024). Prácticas para manejar impactos climáticos: Plátanos y Guineos. In Guía de adaptación: Cambio climático en fincas y terrenos boscosos del Caribe. San Juan, PR: Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, Instituto Internacional de Dasonomía Tropical.
<https://caribbeanclimatehub.org/wp-content/uploads/2024/06/FolletoPlatanos-y-Guineos4.9.pdf>
- Crespo-Vélez, S.; Guzmán-Colón, D.; Gould, W. (2024). Prácticas para manejar impactos climáticos: árboles frutales. In Guías de adaptación: Cambio climático en fincas y terrenos boscosos del Caribe. San Juan, PR: Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, Instituto Internacional de Dasonomía Tropical.
<https://caribbeanclimatehub.org/wp-content/uploads/2024/06/folletofrtaler4.10.pdf>
- Crespo-Vélez, S.; Guzmán-Colón, D.; Ortiz-Colón, G. (2024). Prácticas para manejar impactos climáticos: Ganadería. In Manual Práctico: Guía de adaptación al cambio climático en fincas y terrenos boscosos del Caribe. San Juan, PR: Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, Instituto Internacional de Dasonomía Tropical.
<https://caribbeanclimatehub.org/wp-content/uploads/2024/06/folletosganaderia4.7.pdf>
- Crespo-Vélez, S.; Guzmán-Colón, Giraldo Zapata, M.C.; Gould, W.A. (2024). Prácticas para manejar impactos climáticos: Tubérculos. In Guías de adaptación: Cambio climático en fincas y terrenos boscosos del Caribe. San Juan, PR: Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, Instituto Internacional de Dasonomía Tropical.
<https://caribbeanclimatehub.org/wp-content/uploads/2024/06/folletostuberculos4.6.pdf>
- Guzmán-Colón, D., Crespo-Vélez, S., Rodríguez-Cruz, L.A., Álvarez-Berríos, N., Crespo-Acevedo, W.; Gould, W.A. (2024). Guía de Adaptación: Cambio Climático en fincas y terrenos boscosos del Caribe. Centro Climático del Caribe, Instituto Internacional de Dasonomía Tropical, Servicio Forestal de EE.UU., Departamento de Agricultura de EE.UU.
<https://caribbeanclimatehub.org/wp-content/uploads/2024/05/Guia-Practica-WEB-1.pdf>
- Guzmán-Colón, D., Crespo-Vélez, S., Rodríguez-Cruz, L.A., Álvarez-Berríos, N., Crespo-Acevedo, W., Gould, W.A. (2024) Manual Práctico de Trabajo. In Guía de adaptación: Cambio climático en fincas y terrenos boscosos del Caribe. Centro Climático del Caribe. San Juan, PR: Instituto Internacional de Dasonomía Tropical, Servicio Forestal de EE.UU., Departamento de Agricultura de EE.UU.
<https://caribbeanclimatehub.org/wp-content/uploads/2024/05/Manual-5pasos-WEB-4.pdf>
- Guzmán-Colón, D.; Crespo-Vélez, S.; Sanfiorenzo Gil De Lamadrid, A.; Gould, W. (2024). Prácticas para manejar impactos climáticos: Terrenos boscosos. In Guías de adaptación: Cambio climático en fincas y terrenos boscosos del Caribe. San Juan, PR: Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, Instituto Internacional de Dasonomía Tropical.
<https://caribbeanclimatehub.org/wp-content/uploads/2024/06/folletosbosques4.2-1.pdf>

Rol de café y cacao en la cobertura en paisajes productivos

Arlene López-Sampson, PhD.

lopeza@catie.ac.cr

Síntesis de la sesión

La agroforestería, definida en términos sencillos como un uso de la tierra que integra árboles en sistemas agrícolas y/o ganaderos, es crucial para el desarrollo sostenible, particularmente en regiones tropicales como América Latina. Se estima que aproximadamente el 46% de las tierras agrícolas del mundo tienen una cobertura arbórea significativa, y en América Central y del Sur, este porcentaje es aún mayor. En estos territorios, los sistemas agroforestales, como el café y el cacao bajo sombra, los sistemas silvopastoriles y los huertos familiares, predominan y desempeñan un papel esencial en el sustento de las comunidades rurales.

En la sesión se destacó cómo los árboles en fincas provienen de diversas fuentes: pueden ser remanentes del bosque original, árboles plantados deliberadamente para maximizar los beneficios económicos y ecológicos, o regeneración natural manejada por los agricultores. Estos árboles no solo protegen el suelo, regulan el ciclo del agua y promueven la biodiversidad, sino que también mejoran la productividad de los cultivos mediante la regulación del microclima y la provisión de productos adicionales como madera y frutos.

Otro punto clave de la sesión fue la evolución conceptual de la agroforestería. Si bien es una práctica milenaria, ha sido en las últimas décadas que ha sido reconocida formalmente como una ciencia y un enfoque sostenible de uso del suelo. A través de estudios recientes, se ha demostrado que la agroforestería no solo contribuye a la productividad agrícola, sino que también tiene un impacto significativo en la mitigación del cambio climático, la conservación de la biodiversidad y la restauración de tierras degradadas.

El concepto de paisaje fue central en la discusión, destacando la necesidad de gestionar los territorios de manera multifuncional, integrando actividades agrícolas, de conservación y de manejo forestal. Los cultivos perennes, como el cacao y el café, desempeñan un papel esencial en la cobertura arbórea dentro de estos paisajes multifuncionales, ayudando a sostener la biodiversidad y los medios de vida rurales.

Finalmente, se abordaron ejemplos concretos de políticas públicas exitosas que han promovido la adopción de sistemas agroforestales. En particular, se destacó la experiencia de India, que en 2014 lanzó la primera Política Nacional de Agroforestería del mundo, simplificando las regulaciones sobre la gestión y aprovechamiento de árboles en tierras agrícolas y proporcionando incentivos claros para los agricultores. También se discutió cómo la Unión Europea ha integrado la agroforestería en sus programas de desarrollo rural, y cómo países como México han comenzado a implementar políticas innovadoras que incluyen el uso de tecnologías digitales para el monitoreo de sistemas agroforestales.

Objetivo de la sesión

- El objetivo de la sesión fue explorar el papel que desempeñan los cultivos de café y cacao en la cobertura arbórea dentro de paisajes productivos y analizar cómo la agroforestería puede integrarse en políticas públicas y estrategias de desarrollo sostenible. Se buscó destacar la importancia de estos cultivos en la provisión de servicios ecosistémicos, como la conservación de la biodiversidad y la mitigación del cambio climático, así como identificar oportunidades para mejorar las políticas agroforestales que promuevan su adopción masiva y sostenible en diversas regiones del mundo.

Puntos clave abordados en la sesión

Distribución de la agroforestería

- La agroforestería ocupa aproximadamente el 46% de las tierras agrícolas del mundo con una cobertura arbórea superior al 10%. Este sistema de uso de la tierra no solo proporciona alimentos y productos agrícolas, sino que también contribuye a la sostenibilidad ambiental.
- En América Central y América del Sur, la proporción de tierras cultivables bajo agroforestería es especialmente alta. Estos sistemas agroforestales son esenciales para el sustento de aproximadamente el 30% de la población rural en estas regiones. Este hecho resalta la importancia de los sistemas agroforestales en la provisión de servicios ecosistémicos, así como en el suministro de alimentos, fibras y otros productos, garantizando un uso sostenible de la tierra.

Servicios ecosistémicos

- Los sistemas agroforestales ofrecen una amplia gama de servicios ecosistémicos que van más allá de la simple producción de alimentos. Entre estos servicios se incluyen la regulación del clima, la captura de carbono, la conservación de la biodiversidad, la protección y mejora del suelo, y el control de la erosión.
- Estos sistemas también mejoran el ciclo de nutrientes y agua, lo que aumenta la resiliencia de las tierras agrícolas ante eventos climáticos extremos. En paisajes productivos multifuncionales, los cultivos perennes como el café y el cacao juegan un papel crucial en el mantenimiento de la cobertura arbórea, lo que contribuye a la biodiversidad y la sostenibilidad de los medios de vida rurales.

Árboles en fincas

- Los árboles presentes en las fincas pueden tener diferentes orígenes. En muchos casos, son remanentes del bosque original, árboles que los productores dejaron en pie debido a su utilidad o beneficios para la producción. Otros son parte de iniciativas de reforestación, en las que se introducen deliberadamente especies arbóreas para restaurar paisajes degradados o para asociarlas con cultivos, como es el caso de los sistemas de café y cacao bajo sombra. También hay árboles que han sido reclutados de la regeneración natural, seleccionados y cuidados por los productores debido a sus múltiples beneficios, como proporcionar sombra, proteger el suelo o generar productos adicionales como madera o frutas.
- Los árboles en las fincas pueden formar parte de varios tipos de sistemas agroforestales. En América Tropical, los sistemas más comunes incluyen, sistemas silvopastoriles, café y cacao bajo sombra, barbechos mejorados, huertos familiares y cultivos en callejones. Independientemente del sistema, cumplen múltiples funciones simultáneamente, integrándose en el mosaico del paisaje productivo de una forma que maximiza su impacto positivo. Esta multifuncionalidad permite que los sistemas agroforestales sean más sostenibles a largo plazo, ya que los árboles aportan tanto productos directos como indirectos, beneficiando no solo a los propietarios de las fincas, sino también a la comunidad y al medio ambiente en general.



Paisaje agroforestal

- El concepto de paisaje agroforestal es esencial en la planificación y gestión de territorios multifuncionales. Sin embargo, es un concepto que ha estado en constante evolución en los últimos 50 años (Figura 95).

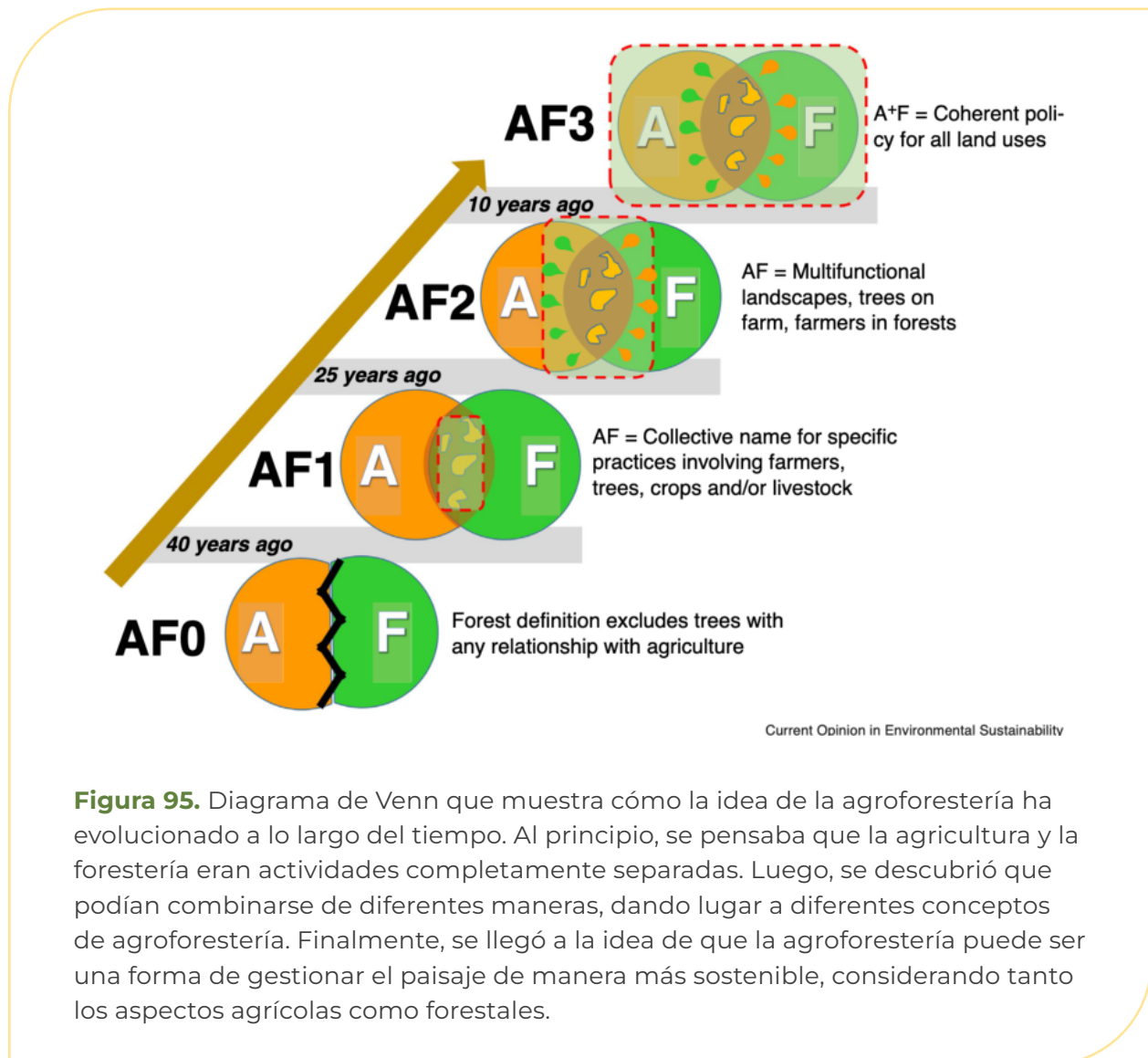


Figura 95. Diagrama de Venn que muestra cómo la idea de la agroforestería ha evolucionado a lo largo del tiempo. Al principio, se pensaba que la agricultura y la forestería eran actividades completamente separadas. Luego, se descubrió que podían combinarse de diferentes maneras, dando lugar a diferentes conceptos de agroforestería. Finalmente, se llegó a la idea de que la agroforestería puede ser una forma de gestionar el paisaje de manera más sostenible, considerando tanto los aspectos agrícolas como forestales.

- En términos sencillos, un paisaje agroforestal es aquel donde se combinan diversos usos del suelo, como la agricultura, la ganadería y la conservación de la biodiversidad, integrando árboles en todas estas actividades para maximizar los beneficios ecológicos y económicos. En estos paisajes, los cultivos de café y cacao bajo sombra juegan un papel crucial en mantener la cobertura arbórea y proteger los servicios ecosistémicos a nivel de paisaje, como la regulación del agua, la captura de carbono y la conservación de la biodiversidad.

- El enfoque de paisaje agroforestal también permite gestionar de manera eficiente las interacciones entre las áreas de producción y las áreas de conservación, creando mosaicos productivos que equilibran la producción agrícola con la conservación de los recursos naturales.

Agroforestería y la política pública

- La agroforestería ha ganado reconocimiento a nivel global no solo por sus beneficios ecológicos y económicos, sino también como una estrategia clave para enfrentar los desafíos del cambio climático, la deforestación y la pobreza rural. Sin embargo, para que estas prácticas se implementen de manera efectiva y se adopten masivamente, es crucial que existan marcos normativos y políticas públicas que apoyen su desarrollo.
- La sesión destacó varios ejemplos de políticas públicas que han promovido la agroforestería, con un énfasis especial en el papel de India, la Unión Europea y otros países en la creación de políticas que integran la agroforestería dentro de sus estrategias de desarrollo rural y sostenibilidad ambiental.
- Política Nacional de Agroforestería de India (PAN, 2014): India es un caso ejemplar en la adopción de políticas públicas orientadas a la promoción de la agroforestería. En 2014, el país se convirtió en el primero en el mundo en implementar una Política Nacional de Agroforestería (PAN), la cual fue presentada en el marco del Congreso Mundial de Agroforestería. Esta política reconoció oficialmente la agroforestería como una práctica integral que responde a los desafíos del desarrollo rural y la conservación de recursos naturales. La política fue el resultado de medio siglo de investigación y documentación sobre agroforestería, lo que le permitió sistematizar y visibilizar las prácticas agroforestales existentes en India. Los aspectos clave de la política incluyen:
 1. **Simplificación de regulaciones:** La PAN eliminó muchas de las barreras legales que dificultaban el manejo, tala y transporte de árboles en tierras agrícolas. Antes de la política, las complejas regulaciones sobre el aprovechamiento de árboles actuaban como un obstáculo significativo para los agricultores interesados en la agroforestería. Al simplificar estas normativas, la PAN incentivó la adopción de sistemas agroforestales,

permitiendo que los agricultores obtuvieran beneficios tanto de la producción agrícola como del aprovechamiento de los productos forestales.

2. **Seguridad de la tenencia de la tierra:** Otro aspecto crucial fue garantizar la seguridad de la tenencia de la tierra, lo cual es un factor determinante para que los agricultores inviertan en la plantación y manejo de árboles en sus fincas. La política fortaleció la propiedad legal y los derechos sobre la tierra, brindando a los agricultores la confianza necesaria para gestionar los sistemas agroforestales a largo plazo.
 3. **Creación de un marco institucional:** La PAN estableció un marco institucional a nivel nacional, bajo el mandato del Ministerio de Agricultura de India, para coordinar y promover la agroforestería en todo el país. Este marco incluyó el desarrollo de una base de datos sólida y un sistema de información de mercado, lo que facilitó a los agricultores el acceso a información sobre los beneficios de los sistemas agroforestales y los incentivos disponibles.
- El éxito de la política en India ha servido como un modelo para otros países que buscan adoptar un enfoque más proactivo hacia la agroforestería. Se destaca cómo esta política ha contribuido al desarrollo económico rural, a la protección de la biodiversidad y a la mitigación del cambio climático, posicionando a India como un líder en la integración de la agroforestería en sus políticas públicas.
 - Unión Europea y medidas de desarrollo rural: La Unión Europea ha incorporado la agroforestería en sus Programas de Desarrollo Rural a través de varias medidas y submedidas. Las Medidas 221, 222 y 223 y las Submedidas 8.1 y 8.2 del programa de desarrollo rural de la Política Agrícola Común (PAC) 2007-2013 y 2014-2020, promueven la introducción de árboles en tierras agrícolas como parte de una estrategia para aumentar la sostenibilidad del uso del suelo en Europa.
 - Estas medidas han incentivado a los agricultores a integrar componentes leñosos en sus tierras, lo que ha generado beneficios ambientales y económicos. Los programas han proporcionado apoyo financiero y técnico a los agricultores para la plantación de árboles y el manejo de sistemas agroforestales, reconociendo la importancia de estos sistemas para mejorar la biodiversidad, reducir la erosión del suelo, capturar carbono y contribuir a la mitigación del cambio climático.

- La experiencia de la Unión Europea demuestra que los incentivos financieros y el apoyo técnico pueden ser instrumentos efectivos para fomentar la adopción de prácticas agroforestales a gran escala. Además, al integrar la agroforestería en la PAC, la UE ha mostrado cómo es posible alinear las políticas nacionales de agricultura y silvicultura con los objetivos de conservación y sostenibilidad a nivel global.
- Estados Unidos y las políticas agroforestales: En Estados Unidos, aunque no existe una política nacional formal de agroforestería como la de India, se han implementado legislaciones y programas en algunos estados para promover la adopción de prácticas agroforestales. En 1995, solo 20 de los 50 estados tenían legislaciones relacionadas con prácticas agroforestales como cortinas rompevientos, zonas de amortiguamiento ribereñas, cultivos en callejones y sistemas silvopastoriles. Sin embargo, estas políticas han evolucionado y el país ha avanzado en el fomento de la agroforestería a través de la National Agroforestry Center (NAC), que provee investigación, educación y apoyo técnico a agricultores interesados en integrar árboles en sus tierras productivas. El enfoque estadounidense ha estado más centrado en la investigación y en proporcionar herramientas de apoyo a los agricultores, pero enfrenta retos similares a los de otros países en cuanto a la necesidad de simplificar las regulaciones y crear incentivos más sólidos para la adopción masiva de sistemas agroforestales.
- México: propuesta de política agroforestal: En México, se ha avanzado en la propuesta de una política agroforestal vinculada a la agricultura de precisión y operativizada a través del uso de tecnologías como aplicaciones móviles (apps) para monitorear y gestionar las plantaciones. Esta propuesta tiene como objetivo no solo promover la agroforestería como una estrategia para la sostenibilidad, sino también modernizar su gestión a través del uso de herramientas digitales que faciliten la recolección de datos, la gestión de árboles en fincas y el acceso a mercados. Entre los aspectos clave de esta propuesta se incluyen:
 1. **Listado de especies a promover:** Se identifican especies de árboles que son adecuadas para integrarse en los sistemas productivos, tanto por su capacidad de mejorar los rendimientos agrícolas como por su contribución a la biodiversidad.

2. **Sistemas agroforestales a promover:** Se delinear los tipos de sistemas agroforestales más adecuados para diferentes regiones del país, con un enfoque en aquellos que tienen el mayor potencial para mejorar la productividad agrícola y contribuir a la mitigación del cambio climático.
3. **Gobernanza:** La propuesta identifica las instituciones responsables de dar seguimiento a la implementación de la política, garantizando la coordinación intersectorial y el monitoreo efectivo de los resultados.
4. **Integración de la agroforestería en agendas globales:** Un aspecto crucial de las políticas agroforestales es su capacidad para alinearse con las agendas globales de sostenibilidad y biodiversidad, como los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), las Contribuciones Determinadas a Nivel Nacional (NDC) en el marco del Acuerdo de París y las Estrategias Nacionales de Biodiversidad. La agroforestería ha sido reconocida como una práctica clave para alcanzar metas globales, como la reducción de la deforestación, la captura de carbono y la adaptación al cambio climático.

Generic indicator	Specific indicators
In-situ conservation (of forest and farm adapted species)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Cumulative basal area vs diameter 2. Rarefied species richness of trees (total and native) 3. Species of conservation concern (both farmland and forest species)
Landscape connectivity	<ol style="list-style-type: none"> 4. Tree cover (total and native) 5. Intactness index (trees and birds) 6. Trend in habitat connectivity (Frag Stat metrics)
Ecosystem services	<ol style="list-style-type: none"> 7. Above Ground Biomass (Total and Native) 8. Use diversity of trees, species per use (also contributes to AT13) 9. Insect abundance/biomass (Pollinators and natural enemies) 10. Soil health (Biomass and diversity)

Figura 96. Oportunidad de la agroforestería para reforzar agendas globales a través de indicadores para medir la contribución de los árboles en fincas a la biodiversidad.

- Las políticas públicas que promueven la agroforestería no solo benefician a los agricultores a nivel local, sino que también contribuyen a objetivos internacionales de conservación y sostenibilidad, ayudando a los países a cumplir con sus compromisos bajo el Convenio sobre la Diversidad Biológica (CBD) y los esfuerzos globales para la cero deforestación.

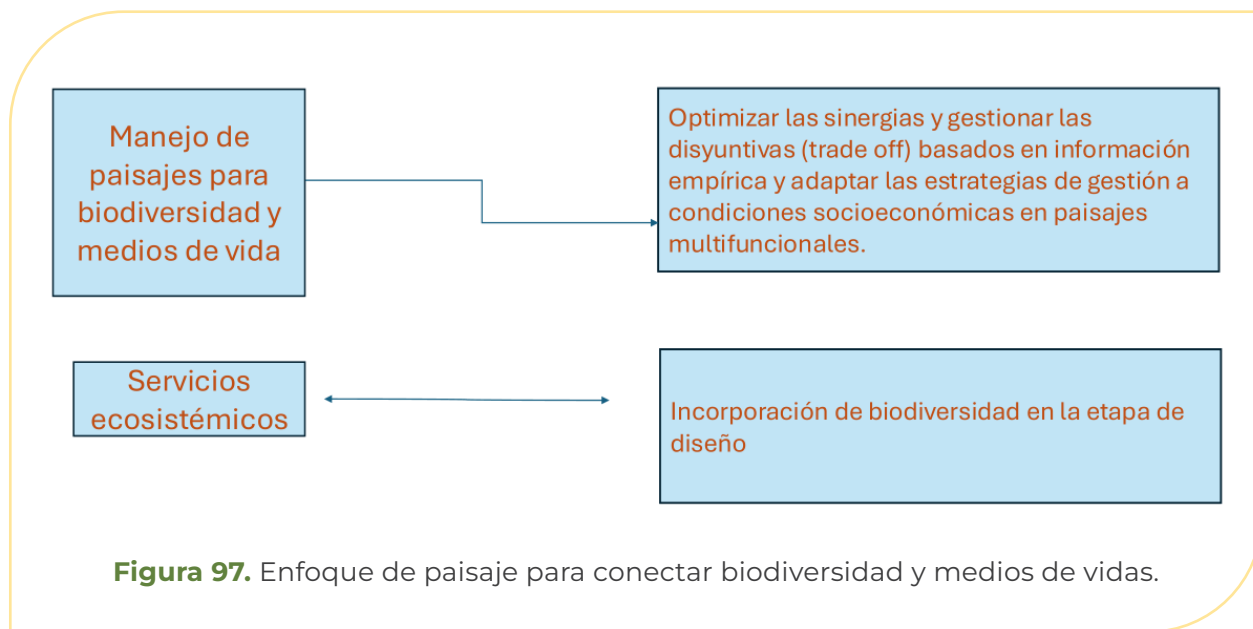
Rol del cacao y el café

- En Nicaragua, se ha observado que el cultivo de cacao está estrechamente vinculado a la reforestación. En muchas áreas, el cacao puede reemplazar pasturas degradadas, cafetales viejos e improductivos, y barbechos envejecidos, ayudando a mantener o mejorar la cobertura arbórea. Sin embargo, el cacao también enfrenta desafíos como la incidencia de enfermedades y la falta de servicios técnicos de apoyo, que pueden desincentivar a los agricultores a plantar o gestionar más árboles de cacao.
- Por otro lado, el café cultivado bajo sombra sigue siendo un sistema clave en la agroforestería de América Latina. A nivel mundial, los sistemas agroforestales de café con sombra representan una parte importante de la producción, protegiendo el suelo y mejorando la biodiversidad en paisajes agrícolas.
- En la sesión se abordó un enfoque detallado para el desarrollo e implementación de políticas agroforestales efectivas, estructurado en 10 pasos clave. Este enfoque busca proporcionar un marco práctico para guiar a los responsables de la formulación de políticas en la creación de entornos favorables que promuevan la adopción de sistemas agroforestales de manera sostenible. Estos pasos están diseñados para abordar tanto las barreras institucionales como las limitaciones que enfrentan los agricultores al integrar árboles en sus paisajes productivos:
 1. **Corre la voz:** Aumentar la conciencia de los beneficios de los sistemas agroforestales tanto para los agricultores individuales como para la sociedad global.
 2. **Revisa el contexto:** Evaluar y reformar regulaciones desfavorables y restricciones legales.
 3. **Asegurar el terreno:** Clarificar los objetivos y regulaciones de la política de uso de la tierra.

4. **Crea un nuevo enfoque:** Elaborar nuevas políticas agrícolas que tengan en cuenta el papel de los árboles en el desarrollo rural.
5. **Organizar y crear sinergias:** Organizar la coordinación intersectorial para mejorar la coherencia de las políticas y las sinergias.
6. **Proporcionar incentivos:** Crear un contexto claro para los pagos por servicios ambientales.
7. **Desarrollar mercados:** Fortalecer el acceso de los agricultores a los mercados de productos forestales.
8. **Comunicar el know-how:** Mejorar la información de las partes interesadas.
9. **Incluya a la parte interesada:** Formular o fortalecer políticas basadas en las necesidades y derechos de la población local.
10. **Gobernar sabiamente:** Participar en la buena gobernanza de las actividades rurales.

Enfoque de paisaje

- El enfoque de paisaje es un concepto fundamental en la gestión sostenible de los territorios que va más allá de los límites de las fincas o las parcelas individuales. Se trata de una estrategia que busca gestionar el uso de la tierra de manera integral y multifuncional, considerando la interacción entre las actividades humanas (agricultura, silvicultura, ganadería, etc.) y los procesos ecológicos (conservación de la biodiversidad, regulación del agua, protección del suelo, etc.).
- Este enfoque es clave para encontrar soluciones equilibradas y sostenibles en paisajes donde los recursos son limitados y donde existen múltiples demandas y objetivos de uso de la tierra (Figura 96).
- La agroforestería encaja perfectamente en el enfoque de paisaje, ya que es un sistema de uso de la tierra que integra árboles y arbustos en paisajes agrícolas, proporcionando tanto beneficios productivos como servicios ecosistémicos. En este contexto, los cultivos perennes como el cacao y el café no solo son importantes para la producción agrícola, sino que también juegan un papel en la conservación del paisaje, contribuyendo a la biodiversidad y la resiliencia climática. El enfoque de paisaje permite optimizar las sinergias entre los distintos usos de la tierra, equilibrando la producción de alimentos con la conservación de los recursos naturales.



- Este enfoque también es fundamental para diseñar y adaptar políticas que promuevan la inclusión de la agroforestería en paisajes multifuncionales, donde se deben gestionar las disyuntivas entre la producción agrícola y la conservación ambiental.

Conclusiones y reflexiones finales

La agroforestería emerge como una herramienta clave para abordar los desafíos globales de sostenibilidad, cambio climático y desarrollo rural. Los cultivos de café y cacao, dentro de sistemas agroforestales, no solo mejoran la productividad agrícola y ofrecen alternativas económicas para las comunidades rurales, sino que también juegan un rol esencial en la conservación de la biodiversidad, la protección de suelos y la regulación del ciclo del agua. Estos sistemas no son solo productivos, sino también multifuncionales, proporcionando una amplia gama de servicios ecosistémicos críticos para la sostenibilidad a largo plazo.

El enfoque de paisaje resulta fundamental para gestionar territorios de manera integrada y equilibrada, reconociendo la interacción entre los componentes naturales y las actividades humanas. Este enfoque permite que la agroforestería se inserte en mosaicos productivos que maximizan los beneficios ambientales y económicos, al tiempo que aseguran la resiliencia de los ecosistemas frente al cambio climático y otros desafíos ambientales.

Un elemento crucial es el papel que juegan las políticas públicas en la expansión de la agroforestería. Las experiencias de países como India muestran que, con marcos regulatorios simplificados y claros, y con incentivos económicos adecuados, la adopción de sistemas agroforestales puede aumentar significativamente. En este sentido, la agroforestería no solo debe ser promovida como una práctica agrícola más, sino como una estrategia integrada dentro de las políticas nacionales e internacionales de desarrollo rural, conservación de biodiversidad y lucha contra el cambio climático.

Para finalizar la sesión se reflexionó sobre la importancia de que las políticas y estrategias de agroforestería sean diseñadas e implementadas con un enfoque participativo e inclusivo, involucrando a todos los actores clave, desde los agricultores y las comunidades rurales hasta los gobiernos y el sector privado. Solo de esta manera se garantizará que los sistemas agroforestales sean adoptados de manera sostenible y escalable, contribuyendo al bienestar de las comunidades y a la protección de los recursos naturales en el largo plazo.

Pregunta de evaluación

¿Qué sugerencias puede aportar para una mejor promoción/inclusión/reconocimiento de los árboles en las leyes, las estadísticas nacionales y la agenda de gobierno?

Literatura citada y relacionada con el tema

- Asase, A., & Tetteh, D. A. (2010). The role of complex agroforestry systems in the conservation of forest tree diversity and structure in southeastern Ghana. *Agroforestry Systems*, 79(3), 355-368. <https://doi.org/10.1007/s10457-010-9311-1>
- Gassner, A., & Dobie, P. (2022). *Agroforestry: A primer*. CIFOR-ICRAF. <https://repositorio.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/11998/BCO22098418e.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Reed, J., Deakin, L., & Sunderland, T. (2015). What are 'Integrated Landscape Approaches' and how effectively have they been implemented in the tropics: A systematic map protocol. *Environmental Evidence*, 4(1), 2. <https://doi.org/10.1186/2047-2382-4-2>
- Somarriba, E., Chomba, S., Ganz, D., Garrity, D., Scherr, S., Torquebiau, E., & Tropenbos Foundation, W. (Países B. (2024). *Agroforestry at work*. <https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/12633>
- Van Noordwijk, M. (2018). Agroforestry as part of climate change response. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 200, 012002. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/200/1/012002>
- Zomer, R. J., Trabucco, A., Coe, R., Place, F., Van Noordwijk, M., & Xu, J. C. (2014). Trees on farms: an update and reanalysis of agroforestry's global extent and socio-ecological characteristics (pp. 33-33). Working Paper 179.(ed WACISARPD WP14064. PDF). Bogor, Indonesia. https://www.researchgate.net/profile/Antonio-Trabucco/publication/262914994_Trees_on_farms_an_update_and_reanalysis_of_agroforestry's_global_extent_and_socio-ecological_characteristics/links/0a85e53935ccb1b66000000/Trees-on-farms-an-update-and-reanalysis-of-agroforestrys-global-extent-and-socio-ecological-characteristics.pdf

Sesión de cierre del curso

Luis Orozco Aguilar, PhD.
luisoroz@catie.ac.cr

Síntesis de la sesión

La última sesión del curso se centró en la presentación de recursos y bases de datos especializadas en agroforestería. El profesor Luis Orozco hizo un recorrido por varias bibliotecas digitales y plataformas agroforestales, destacando sitios de libre acceso en Latinoamérica, como la Biblioteca Orton del CATIE, Agroforesta, y otras redes científicas. Además, se discutieron las evaluaciones del curso, mostrando una alta satisfacción entre los participantes, y se abrió un espacio para recibir comentarios y retroalimentación. Los participantes resaltaron la importancia del contenido y propusieron ajustes, como reducir la frecuencia de las sesiones y abordar temas adicionales como género y financiamiento de proyectos.

Objetivo central de la sesión

- El objetivo principal fue mostrar recursos valiosos para quienes trabajan en agroforestería, facilitar el acceso a investigaciones y publicaciones especializadas, y reflexionar sobre el desarrollo y la experiencia del curso, con miras a mejorar futuras ediciones.

Puntos clave abordados en la sesión

Presentación de bases de datos y plataformas de agroforestería

- El profesor Luis Orozco inició la sesión mostrando diversos sitios web y bibliotecas especializadas en agroforestería, disponibles en varios idiomas (español, portugués, y francés). Entre las más destacadas, mencionó:
 1. **Biblioteca Conmemorativa Orton del CATIE:** Ofrece acceso libre a más de 3,500 documentos sobre agroforestería, incluyendo artículos científicos, manuales técnicos, y síntesis para tomadores de decisiones. En esta plataforma, los usuarios pueden realizar búsquedas refinadas por temática, país o año.
 2. **Agroforesta:** Una red científica agroforestal latinoamericana integrada por instituciones de países como México, Colombia, Ecuador y Nicaragua, entre otros. Esta plataforma facilita la colaboración entre investigadores y ofrece fondos para la generación de documentación técnica y científica.
 3. **Publicaciones internacionales:** También se mencionaron sitios globales, como el World Agroforestry Center, que publica investigaciones sobre sistemas agroforestales en África y Asia. Estos sitios ofrecen más de 750 publicaciones anuales y proporcionan estudios sobre temas como sistemas silvopastoriles.
 4. **Tropenbos:** Una ONG que trabaja en la sistematización de experiencias agroforestales en el sureste asiático y África. La información está disponible en boletines, infografías y videos, lo que facilita el acceso a estudios de casos prácticos.
- Esta amplia gama de recursos fue presentada como un instrumento para que los participantes continúen fortaleciendo su conocimiento y actualizándose con la investigación agroforestal más reciente.

Retroalimentación de los participantes sobre el curso

- Durante la sesión, se compartieron los resultados de una encuesta de retroalimentación del curso, en la que se evaluó la satisfacción de los participantes. Los comentarios indicaron que la mayoría de los estudiantes estaban satisfechos con la calidad de las presentaciones, los facilitadores y el material utilizado. Algunos de los aspectos más destacados de la retroalimentación fueron:
 - 1. Representatividad:** La encuesta mostró que la mayoría de las personas que iniciaron el curso también participaron hasta su conclusión.
 - 2. Secuencia lógica del curso:** Se valoró la coherencia en la estructura del curso, así como la calidad de las presentaciones y del material compartido.
 - 3. Tiempo de las sesiones:** Hubo consenso en que la duración de una hora y media por sesión fue adecuada, pero se sugirió reducir la frecuencia de las sesiones por semana, de tres a dos o incluso una. Esta sugerencia buscaba evitar que el curso se sintiera excesivamente demandante.
 - 4. Propuestas de mejora del curso:** A lo largo de la retroalimentación, los participantes hicieron varias sugerencias para mejorar futuras ediciones del curso, entre las que destacaron:
 - 5. Frecuencia de las sesiones:** Algunos participantes comentaron que tres sesiones por semana era una carga considerable, proponiendo reducir la frecuencia a dos o una sesión semanal, lo que permitiría una mayor asimilación del contenido.
 - 6. División temática del curso:** Se sugirió dividir el curso en módulos especializados, uno para café y otro para cacao. Esto permitiría a los participantes enfocar sus estudios según su área de interés y evitaría la saturación de temas.
 - 7. Temas adicionales:** Los participantes propusieron incluir más temas relacionados con el género en el contexto de la agroforestería. Se destacó la necesidad de abordar las diferencias en los roles y responsabilidades de hombres y mujeres en las fincas y cómo estas dinámicas pueden influir en los sistemas agroforestales. Además, se recomendó profundizar en temas como el financiamiento de proyectos y el acceso a créditos de carbono, que son cada vez más relevantes para la implementación de prácticas agroforestales sostenibles.

Espacio de comentarios y reflexiones de los participantes

- El espacio de comentarios finales se convirtió en un foro de ideas y experiencias que reflejaron la aplicabilidad del curso en diferentes contextos. Los participantes, provenientes de distintas regiones de Latinoamérica, compartieron cómo estaban aplicando el conocimiento adquirido en proyectos reales, como la restauración de ecosistemas degradados, la implementación de sistemas agroforestales en fincas de café y cacao, y la asesoría a pequeños productores. Se destacó el valor del curso como una herramienta práctica y aplicable que contribuye a mejorar el manejo de sistemas agroforestales.
- Además, se mencionó la importancia de la colaboración regional, resaltando cómo la agroforestería puede ser una plataforma para intercambiar experiencias y conocimientos entre países de Latinoamérica, facilitando la creación de redes y la colaboración en proyectos.

Oportunidades para el futuro

- Los organizadores del curso indicaron que estaban considerando seriamente las sugerencias de los participantes, como la posibilidad de dividir el curso en temas más específicos (café, cacao, restauración de ecosistemas) y la reducción en la frecuencia de las sesiones. También se planteó la posibilidad de mantener una red activa de comunicación entre los participantes para seguir compartiendo recursos y actualizaciones, y se mencionó que se realizarán más cursos en el futuro, con el apoyo de donantes como el gobierno de Canadá.

Conclusiones y reflexiones finales

La sesión cerró con un espacio de comentarios, donde los participantes expresaron su gratitud y satisfacción por el contenido del curso. Se destacaron las oportunidades de aplicar los conocimientos adquiridos en proyectos reales. También se discutieron posibles cambios para futuras ediciones, como la reducción en la frecuencia de sesiones y la inclusión de temas adicionales relevantes para el desarrollo de agroforestería en Latinoamérica.

ANEXOS

Anexo 1. Título de las sesiones, asistencia y enlace del video de la grabación disponible en YouTube.

No.	Tema de la sesión	Asistentes	Enlace de la grabación
1	Modelos de cultivo de cacao en Latinoamérica y su rol ambiental	215	https://www.youtube.com/watch?v=TFyznk8V7sg
2	Potencial de la agroforestería para la restauración ecológica a nivel paisaje	212	https://www.youtube.com/watch?v=iVEfsuGXcP8
3	Servicios ecosistémicos en café y cacao a nivel de finca y paisaje	214	https://www.youtube.com/watch?v=JITF6mo6pgo
4	Modelos agroforestales y rol ambiental del cultivo de café en LAC	195	https://www.youtube.com/watch?v=jiYJMjXu2d8
5	Diversidad genética de cacao como base para el diseño de SAF sostenibles	184	https://www.youtube.com/watch?v=9Mn_CPbB-yw
6	Diversidad genética del café como base para el diseño de SAF sostenibles	156	https://www.youtube.com/watch?v=RanNaATxyKY
7	Diagnóstico y diseño de dosel de SAF café y cacao	147	https://www.youtube.com/watch?v=qsSojYMQAI
8	Enfoque de patosistema como base para el manejo integrado de plagas y enfermedades en SAF café y cacao	129	https://www.youtube.com/watch?v=-5yHXPtVF1U
9	Arreglos de siembra y polinización para maximizar productividad	142	https://www.youtube.com/watch?v=CAHt8G4AQtc
10	Rasgos funcionales para el diseño de doseles de sombra en café y cacao	138	https://www.youtube.com/watch?v=15PaJcsmhU4
11	Plataformas informativas y de planificación para la agroforestería y restauración agroecológica	122	https://www.youtube.com/watch?v=R13KAXYU_f0
12	¿Por qué es necesario tener una buena definición para fomentar el desarrollo agroforestal del cacao (y del café)? El caso del cacao en África	109	https://www.youtube.com/watch?v=eVXod6WHx2w

No.	Tema de la sesión	Asistentes	Enlace de la grabación
13	Enfoque de caficultura regenerativa y resultados de estudios de largo plazo	119	https://www.youtube.com/watch?v=cJvIloRNFok
14	Plasticidad ecofisiológica del cacao	113	https://www.youtube.com/watch?v=WclFPoKZmyQ
15	Fertilidad y balance de nutrientes en cacao y café	106	https://www.youtube.com/watch?v=kVNsDeC3SYk
16	Estrategia para la prevención y mitigación de riesgos	95	https://www.youtube.com/watch?v=wJxX0zBgUu0
17	Normativa EU-DR sobre cadenas de suministro libre de deforestación	112	https://www.youtube.com/watch?v=Ja9py-sIMUM
18	ShadeMotion como herramienta para el diseño de sistemas agroforestales	90	https://www.youtube.com/watch?v=HBWBNltmsZE
19	Institucionalidad de la calidad de cacao como estrategia de posicionamiento y diferenciación de la región LAC	104	https://www.youtube.com/watch?v=mB0tfeXbKTY
20	Estimación de carbono en sistemas agroforestales y pago por servicios ambientales	116	https://youtu.be/6HImi77bUwA
21	El rol de los sistemas agroforestales (SAFS) en programas REDD+	104	https://www.youtube.com/watch?v=i6qri6MRen4
22	Recursos y herramientas para la enseñanza y adaptación al cambio climático	98	https://www.youtube.com/watch?v=k1ses8obrpQ
23	Rol de café y cacao en la cobertura en paisajes productivos	93	https://www.youtube.com/watch?v=NQWqH3mX3gU
24	Sesión de cierre del curso	117	https://www.youtube.com/watch?v=YF4gwE0y_rQ



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).



Tel. + (506) 2558-2000



comunica@catie.ac.cr



Sede Central, CATIE
Cartago, Turrialba, 30501
Costa Rica