



# INTERVENCIONES Y TECNOLOGÍAS AMBIENTALMENTE RACIONALES (TAR) PARA LA ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO DEL SECTOR AGROPECUARIO DE AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE

Año 2019





Catalogación en la fuente proporcionada por la Biblioteca Felipe Herrera del Banco Interamericano de Desarrollo

Intervenciones y tecnologías ambientalmente racionales (TAR) para la adaptación al cambio climático del sector agropecuario de América Latina y el Caribe (ALC) / Danilo Pezo, Reinhold Muschler, Diego Tobar, Astrid Pulido. p. cm. — (Monografía del BID ; 687)

Incluye referencias bibliográficas.

1. Agriculture-Environmental aspects-Latin America. 2. Agriculture-Environmental aspects-Caribbean Area. 3. Crops and climate-Latin America. 4. Crops and climate-Caribbean Area. 5. Climate change mitigation-Latin America. 6. Climate change mitigation-Caribbean Area. 7. Food security-Latin America. 8. Food security-Caribbean Area. I. Pezo, Danilo. II. Muschler, Reinhold. III. Tobar, Diego. IV. Pulido, Astrid. V. Banco Interamericano de Desarrollo. División de Cambio Climático. VI. Serie. IDB-MG-687

Códigos JEL: O54, Q1, Q16, Q54 y Q55.

Palabras clave: Innovaciones producción agropecuaria; revirtiendo degradación ambiental; manejo racional de recursos alimenticios; intensificación sostenible de la ganadería.

Esta publicación se realiza en el marco del proyecto “Mecanismos y Redes de Transferencia de Tecnologías de Cambio Climático en Latinoamérica y el Caribe (LAC)”. El proyecto, implementado por el Banco Interamericano de Desarrollo (BID) y financiado con recursos del Fondo para el Medio Ambiente Mundial (FMAM), promueve el desarrollo y transferencia de tecnologías para contribuir a la reducción de emisiones de gases efecto invernadero y de la vulnerabilidad al cambio climático en la región LAC, a través de la promoción y el apoyo de esfuerzos de colaboración a nivel regional; el respaldo a la planificación y los procesos de toma de decisiones a nivel nacional y sectorial; la demostración de políticas y mecanismos facilitadores, y la movilización de recursos financieros y humanos privados y públicos. El proyecto prioriza los temas de mitigación y adaptación al cambio climático en los sectores de eficiencia energética y energía renovable, transporte, monitoreo forestal y agricultura resiliente. Asimismo, incluye un componente transversal relacionado con el desarrollo de capacidades institucionales y de políticas nacionales de la región. Las actividades relacionadas con Agricultura han sido ejecutadas por el Fondo Regional de Tecnología Agropecuaria (FONTAGRO) entidad ejecutora:

Créditos y Contribuciones: El presente documento ha sido preparado por el equipo consultor: Danilo Pezo PhD., Reinhold Muschler, Diego Tobar y Astrid Pulido, de la Unidad de Ganadería Ambiental (GAMMA) con la colaboración de Eugenia Saini, Hugo Li Pun, Nicolás Mateo, Víctor Mares y Karla Espinoza.

Copyright ©2019 Banco Interamericano de Desarrollo. Esta obra se encuentra sujeta a una licencia Creative Commons IGO 3.0 Reconocimiento-NoComercial-SinObrasDerivadas (CC-IGO 3.0 BY-NC-ND) (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/igo/legalcode>) y puede ser reproducida para cualquier uso no-comercial otorgando el reconocimiento respectivo al BID. No se permiten obras derivadas.

Cualquier disputa relacionada con el uso de las obras del BID que no pueda resolverse amistosamente se someterá a arbitraje de conformidad con las reglas de la CNUDMI (UNCITRAL). El uso del nombre del BID para cualquier fin distinto al reconocimiento respectivo y el uso del logotipo del BID, no están autorizados por esta licencia CC-IGO y requieren de un acuerdo de licencia adicional.

Note que el enlace URL incluye términos y condiciones adicionales de esta licencia.

Las opiniones expresadas en esta publicación son de los autores y no necesariamente reflejan el punto de vista del Banco Interamericano de Desarrollo, de su Directorio Ejecutivo ni de los países que representa.



# CONTENIDO

▶ <b>1 INTRODUCCIÓN</b>	<b>11</b>
1.1 Enfoque, objetivos y alcance	11
1.1.1 Uso de la tierra	12
1.1.2 Los recursos agua, suelo y biodiversidad	14
1.2 Producción y productividad agropecuaria en Latinoamérica y el Caribe	16
1.3 La demanda de alimentos y el estatus nutricional en América Latina y el Caribe	20
▶ <b>2 EL CAMBIO CLIMÁTICO Y SUS EFECTOS SOBRE LA PRODUCCIÓN AGROPECUARIA EN LATINOAMÉRICA Y EL CARIBE</b>	<b>21</b>
2.1 Dinámica global del cambio climático	21
2.2 Escenarios de cambio climático (RCP) esperados para América Latina y el Caribe	24
2.3 Tendencias e impactos relevantes del cambio climático sobre los recursos naturales y la producción agropecuaria	27
2.3.1 Biomas terrestres	27
2.3.2 Cambio climático y agua	30
2.3.3 Cambio climático y biodiversidad	31
2.3.4 Cambio climático y producción agrícola y pecuaria	31
2.3.5 Cambios esperados en la distribución de los cultivos más comunes en LAC como respuesta al cambio climático	32
2.4 Limitantes de la modelación	40
2.5 Principales desafíos para la adaptación al cambio climático en los sistemas de producción agrícola y pecuaria	41
▶ <b>3 INNOVACIONES Y TECNOLOGÍAS MÁS RELEVANTES PARA REDUCIR LA VULNERABILIDAD/INCREMENTAR LA CAPACIDAD DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO EN LOS SISTEMAS AGROPECUARIOS</b>	<b>43</b>
3.1 Principios agroecológicos como base de la intensificación y adaptación al cambio climático	43
3.2 Metodología utilizada para la selección de innovaciones promisorias	45
3.3 Innovaciones con potencial para favorecer la adaptación de los agroecosistemas al cambio climático	45
▶ <b>4 CONDICIONES HABILITADORAS PARA EL CAMBIO HACIA UNA PRODUCCIÓN AGROPECUARIA RESILIENTE AL CAMBIO CLIMÁTICO EN LATINOAMÉRICA Y EL CARIBE</b>	<b>49</b>
4.1 Reingeniería de los sistemas de investigación y extensión para enfrentar los retos del cambio climático	49
4.1.1 La investigación agropecuaria y el cambio climático	50
4.1.2 Los servicios de extensión	52
4.1.3 Las Plataformas de Innovación	53
4.2 Desarrollo de capacidades y acceso al conocimiento para promover una agricultura más resiliente al cambio climático	55
4.3 Empoderamiento de los actores a través de acciones colectivas como base de la adaptación al cambio climático y la reducción de riesgos	59
4.3.1 Mecanismos de financiamiento e incentivos para promover la implementación de sistemas menos vulnerables al cambio climático	61

4.3.2 Las certificaciones	61
4.3.3 Pago por servicios ambientales	63
4.3.4 Créditos verdes	64
<b>▶ 5 MARCO POLÍTICO E INSTITUCIONAL A NIVEL REGIONAL PARA REDUCIR LA VULNERABILIDAD AL CAMBIO CLIMÁTICO</b>	<b>65</b>
5.1 Institucionalidad y marco de políticas globales	65
5.2 Institucionalidad y políticas a nivel de regiones	66
5.3 Institucionalidad y políticas a nivel de las subregiones	68
5.4 Oportunidades de Financiamiento	70
5.5 Oportunidades para escalar las innovaciones	72
5.5.1 Acciones Apropriadas de Mitigación a Nivel Nacional (NAMA)	72
5.5.2 Planes Nacionales de Adaptación (NAP)	78
<b>▶ 6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	<b>82</b>
<b>▶ 7 REFERENCIAS</b>	<b>87</b>
<b>ANEXOS</b>	<b>96</b>
<b>▶ ANEXO 1. METODOLOGÍA USADA PARA LA IDENTIFICACIÓN DE LOS EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO SOBRE LA DISTRIBUCIÓN DE LOS CULTIVOS</b>	<b>97</b>
<b>▶ ANEXO 2. MAPAS DE APTITUD CLIMÁTICA PARA LOS CULTIVOS Y PASTOS SELECCIONADOS</b>	<b>102</b>
<b>▶ ANEXO 3. FICHAS TÉCNICAS</b>	<b>147</b>
Innovación: Agua	167
Innovación: Suelo	186
Innovación: Microclima	209
Innovación: Diversidad Genética	225
Innovación: Manejo de Residuos	248
Innovación: Alimentos para el Ganado	260

## INDICE DE CUADROS

<b>Cuadro 1.</b> Área cosechada de los cultivos más importantes en LAC (según datos de USDA-FAS, y de FAOSTAT para café).	17
<b>Cuadro 2.</b> Productividad de algunos cultivos en LAC para el período 2014-2015 (según datos de USDA-FAS, y de FAOSTAT para café).	18
<b>Cuadro 3.</b> Área cosechada, producción y productividad de maíz en América Latina y el Caribe de 1965 a 2015 (Datos de USDA-FAS).	18
<b>Cuadro 4.</b> Tamaño del hato, productividad y nivel de importaciones y exportaciones de leche en América Latina y el Caribe para el período 1984-2014 (FAOSTAT 2017).	19
<b>Cuadro 5.</b> Tamaño del hato, productividad y nivel de importaciones y exportaciones de carne en América Latina y el Caribe para el período 1984-2014 (FAOSTAT 2017)	20

<b>Cuadro 6.</b> Fenómenos meteorológicos y climáticos extremos, identificados por el IPCC en su quinto informe sobre las bases físicas para el climático, evaluación a escala mundial sobre los cambios observados, así como la contribución de las actividades humanas. (Adaptado de IPCC, 2013).	23
<b>Cuadro 7.</b> Fenómenos RCP (trayectorias de concentración representativas), lanteados en el AR5 (IPCC, 2013).	24
<b>Cuadro 8.</b> Especies de cultivos de importancia en LAC seleccionados para el análisis de los efectos del cambio climático sobre su cobertura y distribución territorial.	33
<b>Cuadro 9.</b> Cambios en la aptitud potencial de tierras en América Latina y Caribe entre el 2017 y el 2050, para el crecimiento de 17 cultivos agrícolas y cinco bajo dos escenarios de cambio climático (RCP 4,5 y 8,5), según el modelo ECOCrop (Las celdas coloreadas en naranja corresponden a las especies con mayores pérdidas, y las celdas en verde corresponden a especies que se benefician por el cambio climático).	35
<b>Cuadro 10.</b> Algunos ejemplos de las medidas que contribuyen a la adaptación al cambio climático (Adaptado de: Pettengel, 2010)	48
<b>Cuadro 11.</b> Propuesta de la temática de cambio climático a ser integrada en los currículos universitarios y en los programas de refrescamiento profesional.	58
<b>Cuadro 12.</b> Listado de NAMAS del sector agropecuario en América Latina y el Caribe.	75
<b>Cuadro 13.</b> Estrategias de política pública sobre cambio climático en LAC (Modificado Sánchez & Reyes 2015)	78
<b>Cuadro 14.</b> Proyectos CYTED: desarrollo sostenible, cambio global y ecosistemas (Modificado de Magrin 2015 y <a href="http://www.cytcd.org/es/1%2Bd_redes">http://www.cytcd.org/es/1%2Bd_redes</a> )	81

## INDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Cambios en el uso relativo del suelo en América Latina y el Caribe en los últimos 30 años (FAOSTAT, 2017).	13
<b>Figura 2.</b> Cambio de la temperatura observados entre 1901 – 2012. Derivados de la tendencia de temperatura determinada por una regresión lineal de un conjunto de datos, representados por la Línea naranja de la imagen (a) y, expresados espacialmente en la imagen (b). (IPCC, 2014).	22
<b>Figura 3.</b> Cambio de la temperatura media anual entre la línea temporal base y un período futuro. (a) Línea base (1986 – 2005); (b) Escenario futuro: 2081 – 2100. (IPCC, 2013).	25
<b>Figura 4.</b> Cambio de la temperatura media anual y precipitación para Latinoamérica, bajo dos escenarios de cambio climático. RCP4.5 – 8.5. Se observa la tendencia al incremento de la temperatura a lo largo de la región. Fuente: Worldclim versión 1.4. (Hijmans, et al. 2005).	26

<b>Figura 5.</b> Biomas presentes en Latinoamérica y el Caribe	29
<b>Figura 6.</b> Cambios relativos en las áreas potencialmente aptas para el crecimiento de cultivos agrícolas, en función de cambios moderados (RCP 4.5) y extremos (RCP 8.5) en el clima entre el presente y el año 2050	36
<b>Figura 7.</b> Cambios en la distribución potencial de las áreas aptas para frijol ( <i>Phaseolus vulgaris</i> ) en América Latina y el Caribe, entre el presente y el año 2050, en función de dos escenarios de cambio climático (RCP 4.5 y 8.5)	37
<b>Figura 8.</b> Cambios en la distribución potencial de las áreas aptas para tomate ( <i>Lycopersicon esculentum</i> ) en América Latina y el Caribe, entre el presente y el año 2050, en función de dos escenarios de cambio climático (RCP 4.5 y 8.5).	38
<b>Figura 9.</b> Cambios relativos en las áreas potencialmente aptas para el crecimiento de forrajeras de zona templada y tropical, en función de cambios moderados (RCP 4.5) y extremos (RCP 8.5) en el clima entre el presente y el año 2050.	39
<b>Figura 10.</b> Cambios en la distribución potencial de las áreas aptas para ryegrass ( <i>Lolium perenne</i> ) en América Latina y el Caribe, entre el presente y el año 2050, en función de dos escenarios de cambio climático (RCP 4.5 y 8.5).	40
<b>Figura 11.</b> Impactos esperados por el incremento en la temperatura media ocasionada por el cambio climático	42
<b>Figura 12.</b> Impactos esperados por el incremento en la temperatura media ocasionado por el cambio climático. Innovaciones asociadas con los recursos agua y suelo propuestas para fomentar la adaptación al cambio climático en sistemas agrícolas y ganaderos en LAC.	46
<b>Figura 13.</b> Impactos esperados por el incremento en la temperatura media ocasionado por el cambio climático. Innovaciones asociadas con el microclima y la diversidad genética propuestas para fomentar la adaptación al cambio climático en sistemas agrícolas y ganaderos en LAC.	46
<b>Figura 14.</b> Impactos esperados por el incremento en la temperatura media ocasionado por el cambio climático. Innovaciones asociadas a la alimentación del ganado y el manejo de residuos propuestas para fomentar la adaptación al cambio climático en sistemas agrícolas y ganaderos en LAC.	47
<b>Figura 15.</b> Impactos. Interacciones entre actores del sector agropecuario para atacar la adaptación al cambio climático.	50
<b>Figura 16.</b> Mecanismos de integración a considerar en las diferentes regiones de LAC.	66
<b>Figura 17.</b> Tipos de financiamientos posibles para las diferentes fases de la NAMA. (Modificado de: Galante et al. 2014).	73
<b>Figura 18.</b> Enfoques de las fuentes de financiación pública para la NAMA. (Modificado de: Galante et al. 2014.)	74

# GLOSARIO

<b>AR5</b>	Quinto Informe de Evaluación (AR5, por sus siglas en inglés) análisis de literatura existente sobre los aspectos científicos, tecnológicos, ambientales, económicos y sociales de la mitigación del cambio climático.
<b>ASDR</b>	Agricultura Sostenible y Desarrollo Rural.
<b>CARICOM</b>	Comunidad del Caribe
<b>CATIE</b>	Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza
<b>CBD</b>	Convención sobre la Biodiversidad (Convention on Biological Diversity por sus siglas en inglés)
<b>CELAC</b>	Comunidad de Estados Latinoamericanos y del Caribe
<b>CFAR</b>	Pronóstico del Clima para Recursos Agrícolas (Climate Forecasting for Agricultural Resources por sus siglas en inglés)
<b>CGIAR</b>	Grupo Consultivo para la Investigación Agrícola Internacional (Consultative Group on International Agricultural Research por sus siglas en inglés)
<b>CIP</b>	Centro Internacional de la Papa en Perú
<b>CMNUCC</b>	Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático
<b>CO2</b>	Dióxido de Carbono
<b>ECA</b>	Escuelas de Campo para Agricultores
<b>Ecocrop:</b>	Base de datos de especies de cultivos de la FAO
<b>EM-DAT:</b>	Base de datos internacional de desastres OFDA/“CRED
<b>ENOS</b>	El Niño/Oscilación Sur
<b>EVC</b>	Análisis de Vulnerabilidad Climática y de Capacidad
<b>EW/EA</b>	Alerta Temprana (Early Warning/Early Action por sus siglas en inglés)
<b>FAO</b>	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (Food and Agriculture Organization por sus siglas en inglés)
<b>FONTAGRO</b>	Fondo Regional de Tecnología Agropecuaria
<b>GCCA</b>	EU Global Climate Change Alliance
<b>GCF</b>	Green Climate Fund
<b>GEF</b>	Fondo para el Medio Ambiente Mundial (FMAM)(Global Environmental Facility por sus siglas en inglés)
<b>IKI</b>	German International Climate Initiative
<b>INECC</b>	Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático
<b>IPCC</b>	Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (Intergovernmental Panel on Climate Change por sus siglas en inglés)
<b>LAC</b>	Latino América y el Caribe
<b>LAIF</b>	Latin America Investment Facility
<b>MOSAICC</b>	Sistema de Modelación para Impactos Agrícolas del Cambio Climático (Modelling System for Agricultural Impacts of Climate Change por sus siglas en inglés)
<b>NAMA</b>	Acciones Apropriadas de Mitigación
<b>NAPs</b>	Planes Nacionales de Adaptación
<b>OEA</b>	Organización de Estados Americanos
<b>OFDA/CRED</b>	Oficina de Asistencia para Desastres en el Extranjero de Estados Unidos/ Universidad Católica de Lovaina
<b>RCP</b>	Trayectorias de concentración representativas (Representative Concentration Paths por sus siglas en inglés)
<b>SECCI</b>	BID Sustainable Energy and Climate Change Initiative
<b>SICA</b>	Sistema de la Integración Centroamericana
<b>UNASUR</b>	Unión de Naciones Suramericanas
<b>CAN</b>	Comunidad Andina de Naciones
<b>WB-CTF</b>	World Bank Clean Technology Fund

## AGRADECIMIENTOS

Esta publicación ha sido posible gracias al trabajo colaborativo entre el Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE) y la Secretaría Técnica Administrativa (STA) de FONTAGRO, en el entorno del proyecto “Mecanismos y Redes de Transferencia de Tecnología Relacionada con el Cambio Climático en América Latina y el Caribe”, que implementa FONTAGRO desde el 2014. Este proyecto fue financiado por el Fondo para el Medio Ambiente Mundial (FMAM) y por FONTAGRO. El objetivo del mismo ha sido promover el desarrollo y la transferencia de tecnologías ambientalmente racionales en América Latina y el Caribe (ALC), a fin de contribuir al objetivo final de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y la vulnerabilidad al cambio climático en la agricultura.

Se desea agradecer en especial al Dr. Danilo Pezo por la coordinación y elaboración de este estudio, como también al equipo que lo acompañó en su desarrollo, el Dr. Reinhold Muschler, el Sr. Diego Tobar y la Sra. Astrid Pulido, todos ellos de la Unidad de Ganadería Ambiental (GAMMA) del CATIE.

Similarmente, se destaca la importante colaboración del Dr. Nicolás Mateo y el Dr. Victor Mares, ambos especialistas internacionales que apoyaron a la revisión del contenido del informe, junto con la Dra. Eugenia Saini y el Dr. Hugo Li Pun, ambos de la Secretaría Técnica Administrativa (STA) de FONTAGRO.

Del mismo modo, se desea reconocer el gran trabajo del personal de la STA, especialmente de Juan Balbi y David Gomez, por apoyar en la gestión administrativa y financiera de la iniciativa.

Se desea agradecer al apoyo constante de la Dra. Karla Deidre Espinoza Arguello en la gestión operativa y logística de todos los productos de diseminación de resultados de esta iniciativa.

A nuestro patrocinador, el Banco Interamericano de Desarrollo (BID) que a través de la División de Cambio Climático seleccionó a FONTAGRO como su brazo ejecutor para la implementación de este proyecto en el sector agropecuario de ALC.

Y finalmente, deseamos agradecer y resaltar a todos aquellos científicos y técnicos que han apoyado el desarrollo de esta publicación, que aporta valioso conocimiento para enriquecer el trabajo en red que desarrollamos desde 1998 para América Latina, El Caribe, España y el resto del mundo.



## RESUMEN EJECUTIVO

En la primera sección del presente documento se revisan las tendencias en producción y productividad agropecuaria en la región, y en demanda de alimentos para responder al crecimiento de la población, así como para lograr cambios significativos en el estatus nutricional de la población. Se estima que en los próximos 40 años el crecimiento de la población será del orden del 35%, y vendrá acompañado de mejoras en el nivel de ingreso, todo lo cual traerá consigo un incremento en la demanda de alimentos del orden del 50%. El reto es entonces cómo lograr mejoras substanciales en la producción agropecuaria, haciendo un uso más racional y eficiente de los recursos de producción: tierra, agua, nutrientes del suelo y recursos genéticos, favoreciendo -cuanto sea posible- el reciclaje de nutrientes, así como deteniendo e incluso revertiendo la degradación ambiental. Sin embargo, el desafío es aún más grande, pues el cambio climático (CC) está afectando las actividades agropecuarias, por la presentación cada vez más frecuente de eventos climáticos catastróficos como las inundaciones y sequías, las cuales impactan los recursos suelo y agua, con los consiguientes efectos negativos sobre el rendimiento de cultivos y el ganado. Todo eso incide en comprometer la seguridad alimentaria de los países de Latinoamérica y el Caribe (LAC), y de manera especial a las comunidades más pobres en estos países.

En la segunda sección del presente informe se revisan las diferentes manifestaciones del cambio climático y sus impactos sobre agua, suelo, biodiversidad, así como sobre la producción agrícola y pecuaria. Se hacen proyecciones de los cambios esperados en temperatura media y precipitación, bajo dos escenarios de cambio climático -uno moderado y otro extremo (RCP 4.5 y 8.5, respectivamente)-, y cómo estos van a afectar el área total y la distribución geográfica de 13 cultivos de importancia en la agricultura familiar y para la seguridad alimentaria de la población

en LAC, así como cuatro cultivos industriales de relevancia mayormente para exportación. Además, se seleccionaron cinco especies forrajeras como representativas de las gramíneas y leguminosas de importancia en la zona tropical de bajura, y en la zona templada y el trópico de altura. Esos análisis efectuados permitieron identificar un grupo de cultivos que no van a presentar cambios marcados en las áreas totales aptas para su cultivo, entre los que se encuentran el arroz, banano, cacao, café, caña de azúcar, maíz y soya. En contraste, un segundo grupo incluye cultivos muy vulnerables al cambio climático (frijol, papa, tomate y trigo), cuyas áreas disminuirán significativamente de ahora al 2050. Finalmente, un tercer grupo contiene cultivos que por el contrario se verán favorecidos, entre los que destacan la piña y el sorgo. También se incluyen mapas que evidencian el desplazamiento proyectado de los cultivos, con áreas que dejarán de ser aptas para la producción de un determinado cultivo y otras que por el contrario presentarán condiciones apropiadas para el crecimiento. Debe reconocerse que esas proyecciones han sido mediante el uso del modelo ECOCROP, el cual sólo considera parámetros fisiológicos relacionados con la disponibilidad de humedad y temperaturas óptimas para el desarrollo de los diferentes cultivos, pero no toma en cuenta otros factores relevantes, como son las características físicas y de fertilidad de suelos, diversidad genética actual y prevista para los cultivos analizados, posibles cambios adaptativos en el manejo agronómico, así como las restricciones para efectuar cambios en el uso de la tierra y el acceso a mercados, entre otros.

En la tercera sección del informe se analizan un conjunto de innovaciones tecnológicas que pueden ser usadas para contrarrestar los impactos del cambio climático en los sistemas agropecuarios, con particular referencia a la agricultura familiar. Para la identificación de las innovaciones se tuvo en cuenta no sólo la perspectiva ambiental, sino también que estas contribuyan a asegurar los medios de

vida de las familias productoras y que mejoren la competitividad del sector y su posicionamiento frente a las nuevas demandas por parte de los consumidores. El equipo técnico responsable del informe, con los aportes de 35 profesionales del sector agropecuario de diferentes países de América Latina y el Caribe que participaron de dos consultas virtuales, identificaron un total de 23 innovaciones (contenidas en 19 fichas técnicas), las cuales cubren opciones asociadas a la eficiencia en la captura y uso del agua, la conservación y el manejo de la fertilidad de suelos, la creación de condiciones micro-climáticas favorables, el uso apropiado de la diversidad genética de plantas y animales, el manejo racional de los recursos alimenticios para el ganado, y el manejo integrado de excretas y residuos de cultivos. Para cada innovación hay una descripción de en qué consiste, las zonas agroecológicas donde tiene mayor potencial de aplicación, en qué forma contribuye a reducir la vulnerabilidad, los requerimientos para su implementación, los beneficios y cobeneficios esperados; así como algunos ejemplos de éxito con su aplicación.

En la cuarta sección se analizan las condiciones habilitadoras para implementar los cambios que conduzcan a una producción agropecuaria más resiliente al cambio climático. En ese contexto se proponen cambios que conlleven a la reingeniería de los sistemas de investigación y extensión en LAC. Se reconoce la variabilidad entre países en cuanto al grado de desarrollo, cobertura, difusión de resultados y disponibilidad de recursos en las instituciones del sector, así como en el grado de ajuste en sus enfoques de trabajo para considerar la incertidumbre, la imprevisibilidad y la falta de control que caracteriza a la producción agropecuaria sujeta al cambio climático. Se enfatiza en que la investigación asociada al cambio climático en LAC ha prestado más atención a la mitigación que a la adaptación, y poco a la sinergia entre ambos. Así mismo, se enfatiza en las limitadas acciones de cooperación intrarregional sobre este tema. También se señala que los servicios de extensión y de asistencia técnica agropecuaria en muchos países de LAC han sido descentralizados o tercerizados, pero en varios casos sin la

efectividad deseada; y se enfatiza en la urgencia por realizar esfuerzos en educación y difusión del conocimiento sobre el tema de la adaptación al cambio climático, pues esto se ha constituido en una barrera para reducir los riesgos asociados con los eventos meteorológicos extremos, así como los impactos del cambio y la variabilidad climática sobre la agricultura. Se sugiere que este esfuerzo debe ir desde el nivel de educación primaria básica hasta la universitaria de pre- y posgrado, y de refrescamiento de los profesionales en ejercicio, así como campañas de sensibilización del público sobre el cambio climático y sus efectos, para que todos puedan participar y beneficiarse del diseño de estrategias de adaptación/mitigación. En ese sentido, las plataformas de innovación constituyen un mecanismo promisorio para lograr cambios en los paradigmas de investigación para el desarrollo, ya que son escenarios donde los diferentes grupos de interés dialogan abiertamente, buscan soluciones a los problemas comunes, e identifican los vacíos de información, lo cual va a guiar la investigación, extensión, asistencia técnica y la definición de políticas sectoriales de interés común. Otros mecanismos que pueden ayudar a incentivar la adopción de estrategias de adaptación/mitigación del cambio climático son los financieros como los “créditos verdes” y el pago por servicios ecosistémicos, así como opciones de certificación para acceder a mercados diferenciados (p.e. orgánico, ecológico, comercio justo).

En la quinta y última sección se analiza la institucionalidad y las políticas que pueden coadyuvar a la implementación de estrategias de adaptación al cambio climático en el sector agropecuario de LAC. El cambio climático está en las agendas de organismos regionales tales como la Organización de Estados Americanos (OEA) y la Comunidad de Estados Latinoamericanos y del Caribe (CELAC). La OEA lo aborda en términos de vulnerabilidad climática y gestión de riesgo, la seguridad alimentaria y migraciones, y la CELAC ha propuesto un Plan de Acción a nivel continental para enfrentar el cambio climático. Sin embargo, como este plan es producto de reuniones de los Ministros de Ambiente, hace más énfasis en el tema vulnerabilidad, que en la adaptación de

los sistemas agropecuarios al cambio climático. A nivel subregional, el SICA (Centro América), CARICOM (Caribe) y los países del Sur (UNASUR) muestran una mayor integración que el CAN (Comunidad Andina de Naciones), y los tres primeros han sido más activos en el planteamiento de acciones relacionadas al cambio climático. Sin embargo, la mayor parte de acciones han estado enfocadas en la mitigación a nivel general o bien con enfoque REDD, y apenas un 11% de los recursos se han dirigido a promover proyectos de adaptación al cambio climático. También se reconoce la importancia de los mecanismos de financiamiento para la implementación de políticas relacionadas al cambio climático como son las Acciones Apropriadas de Mitigación (NAMA) y los Planes Nacionales de Adaptación (NAPs). Algunos son de tipo multilateral, tales como el Global Environmental Facility (GEF), Green Climate

Fund (GCF), World Bank Clean Technology Fund (WB-CTF) y BID Sustainable Energy and Climate Change Initiative (SECCI). También los hay de tipo bilateral, tales como el EU Global Climate Change Alliance (GCCA), German International Climate Initiative (IKI) y Latin America Investment Facility (LAIF).

La información recopilada en la presente obra resalta necesidades e identifica opciones efectivas y comprobadas para fomentar el desarrollo sistemático de acciones de adaptación en LAC. Sin duda, solamente una mayor integración entre las iniciativas de organismos financieros, técnicos y educativos, tanto estatales como privados, ofrece los beneficios y sinergias necesarias para poder enfrentar los retos cada vez más marcados a causa del CC.

# 1. INTRODUCCIÓN

## 1.1 ENFOQUE, OBJETIVOS Y ALCANCE

La población de Latinoamérica y el Caribe (LAC) llegaría a los 770 millones en el año 2050, lo que representa un incremento del 38% con relación a la población del año 2005 (Bongaarts, 2009), y si se mantienen las tendencias actuales de crecimiento en los niveles de ingreso<sup>1</sup>, urbanización y consumo<sup>2</sup>, entonces la producción agropecuaria debería mostrar un incremento del 50-60% para responder al aumento en la demanda de alimentos (FAO, 2017). Sin embargo, la pregunta es cómo hacerlo, sin repetir los errores del pasado. No hay duda de que bajo el enfoque de “Revolución Verde” se alcanzaron incrementos importantes en el rendimiento de varios cultivos, pero los efectos negativos del uso intensivo de insumos químicos propios de esos enfoques han incrementado la preocupación sobre la no sostenibilidad de dichas prácticas. En el caso de LAC el crecimiento en la producción de cultivos se incrementó a una

tasa del 2.6% anual entre 1967 y el 2007, pero si se sigue con las prácticas actuales, se estima que éste será de apenas el 1.8% entre el 2007 y el 2050 (Bruinsma, 2011). Más aún, ese crecimiento no ha sido uniforme, pues en América Central y el Caribe fue de apenas un 1,1%, debido en gran medida a limitantes tales como topografía más accidentada, escasez de agua, mayor presencia de suelos pobres y poco profundos, y la predominancia de una agricultura familiar, con menor inversión en insumos agrícolas y con un acceso más limitado a información tecnológica y de mercados, así como al crédito y otros factores que favorecen el cambio tecnológico más acelerado.

Cuando se toma en cuenta que el aumento previsto en la población de LAC para el período 2007-2050 es de más del 35%, entonces la producción agrícola de la región necesita crecer en al menos un 50% para satisfacer las demandas de la población. El reto está entonces en cómo lograr mejoras

1. En el 2050 la clase media en América Latina representará el 31.8%, comparado con el 20.3% en el 2005 (Hillebrand, 2011).

2. En América Latina, el consumo per cápita se incrementará de 2,800 a 3,150 kcal/día entre el año 2000 y el 2050 (Alexandratos, 2011).

substanciales en la eficiencia de uso de los recursos y ganancias importantes en la conservación de los recursos naturales para responder al crecimiento poblacional, a los cambios en la demanda de alimentos, y a la vez detener e incluso revertir la degradación ambiental. Sin embargo, el desafío es aún más grande, pues el cambio climático (CC) está afectando las actividades agropecuarias por la presentación cada vez más frecuente de eventos climáticos catastróficos como las inundaciones y sequías, las cuales impactan los recursos suelo y agua, con los consiguientes efectos negativos sobre el rendimiento de cultivos y el ganado, comprometiendo la seguridad alimentaria de los países de LAC, y de manera especial a las comunidades más pobres en estos países.

Existen muchas tecnologías capaces de ayudar a que el sector agropecuario enfrente los retos del cambio climático, tanto en términos de adaptación como de mitigación. Se entiende por adaptación la capacidad de cualquier intervención para reducir la vulnerabilidad o aumentar la resiliencia de los sistemas de producción ante los efectos del cambio climático (IPCC, 2014<sup>3</sup>); mientras que la mitigación es la posibilidad de disminuir las emisiones o incrementar el secuestro de gases de efecto invernadero dentro de los sistemas de producción (IPCC, 2014<sup>3</sup>). En este informe se hará énfasis en aquellas innovaciones que contribuyen a la adaptación al cambio climático en los sistemas de producción agrícola y ganadera más importantes en LAC, pero se reconoce también que algunas intervenciones pueden resultar en sinergias de adaptación/mitigación. Sin embargo, para que cualquier intervención propuesta sea adoptada, ésta debe contribuir a que a largo plazo presente una mayor estabilidad e incremento en los niveles de producción pese a los riesgos ocasionado por la variabilidad climática; al mismo tiempo permita hacer un uso más racional y eficiente de los recursos de producción: tierra, agua, nutrientes del suelo y recursos genéticos, y favorezca el reciclaje de nutrientes cuando sea posible.

El propósito del presente documento es contribuir a que los diferentes actores que participan de los procesos de cambio tecnológico mejoren el

conocimiento y entendimiento de las tecnologías propuestas para la adaptación al cambio climático. El conjunto de actores que constituyen la población meta de este informe incluye a los decisores políticos, los responsables del financiamiento, los profesionales de las instituciones gubernamentales y no-gubernamentales que brindan los servicios de extensión y asistencia técnica, los educadores responsables de la formación de nuevas generaciones de técnicos, así como a los beneficiarios finales de las decisiones y acciones de éstos que son los productores agropecuarios. Se espera que a través del análisis de las intervenciones propuestas en este documento cada uno de ellos sean capaces de identificar aquellas innovaciones que respondan mejor a las necesidades y condiciones prevalentes en cada situación particular de producción.

### **1.1.1 USO DE LA TIERRA**

En los últimos 30 años se han observado cambios porcentuales relativamente pequeños en el uso del suelo a nivel de LAC, con ligeros incrementos en el área dedicada a cultivos en toda la región, un aumento leve en el área dedicada a pastos en América del Sur, mientras que en Mesoamérica<sup>3</sup> y el Caribe el área en pastos se ha mantenido más o menos estable, y se ha observado una reducción de 4 a 5% en el área de bosques en América Central y del Sur; mientras que en el caso del Caribe se detectaron pequeños incrementos (Figura 1). Sin embargo, las estadísticas regionales enmascaran cambios importantes como la reducción del área de bosques para la siembra de pastos y cultivos como la soya en Brasil, o de pastos y cultivos anuales en países como Nicaragua, Honduras y Guatemala.

Por otro lado, áreas manejadas por varios años en pastos se han transformado en áreas de cultivos, como la soya en Argentina, palma aceitera en Honduras y Guatemala y piña en Costa Rica. También los patrones de cambio de uso dentro de la región han variado con las épocas; por ejemplo, en Argentina, Bolivia, Chile, Paraguay y Uruguay se observó un aumento total del 43% en la superficie dedicada a cultivos entre los ciclos del 2000-01 y 2010-11<sup>4</sup>; en cambio, en el caso de América Central

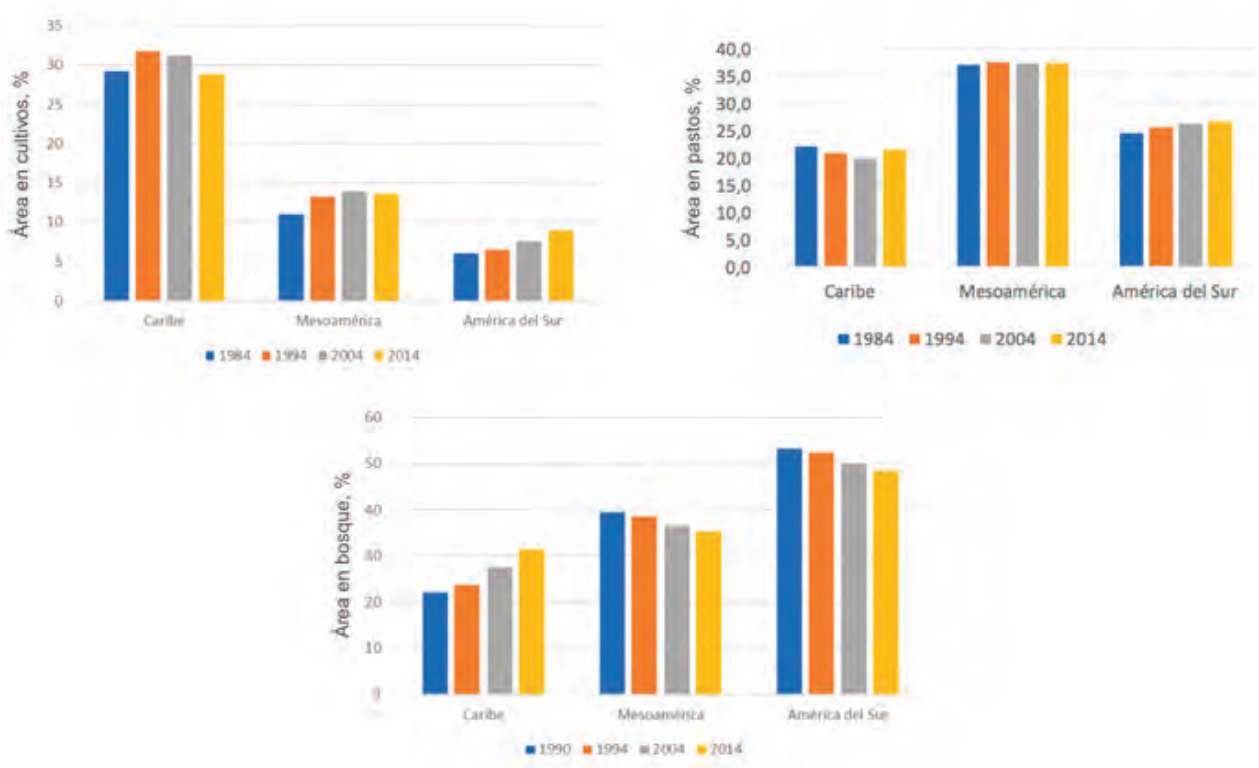
3. América Central y México (1.620)

4. FONTAGRO-BID 2013. Informe Final del Componente 1: Caracterización de la Expansión Agrícola. Análisis Espacial.

y los países amazónicos se han deforestado áreas de bosque mayormente para la siembra de cultivos de grano y pastos. Sin embargo, las tasas de deforestación han tendido a reducirse en las últimas décadas; por ejemplo, en la década de los 90's la tasa de deforestación en América Central fue del 1.45% por año, y se redujo al 0.9% anual para el período 2000-2008 (Pezo et al, 2012).

LAC posee las reservas de tierra cultivable más grandes del mundo tanto en términos de disponibilidad de suelos cultivables como de acceso al agua, dado que casi la mitad (47%) de su superficie está todavía en bosques; sin embargo, hay que considerar que no todas las áreas boscosas son aptas para la agricultura, ni es deseable el convertir todas éstas a usos agrícolas por la pérdida colateral de la biodiversidad y de otros servicios ecosistémicos esenciales que

brindan los bosques (p.e., regulación del ciclo del agua, captura de carbono). Típicamente, la expansión de la producción agrícola ha estado acompañada por prácticas de labranza tradicional que conllevan a la exposición de los suelos resultando en su degradación y erosión; y al uso no racional de insumos químicos con consecuencias en la contaminación de fuentes de agua. Es más, si en las próximas décadas se presentaran niveles de deforestación similares a los registrados en los últimos 50 años, se comprometerán los esfuerzos encaminados a la conservación de suelo y la deforestación evitada, a menos de que estos temas se aborden de manera cuidadosa o que la expansión de la actividad agrícola se dirija fundamentalmente al uso de tierras anteriormente degradadas, que han sido rehabilitadas (Vergara et al., 2014), en lugar de deforestar o intervenir áreas bajo vegetación nativa (Gibbs et al., 2010).



**Figura 1.** Cambios en el uso relativo del suelo en América Latina y el Caribe en los últimos 30 años (FAOSTAT, 2017).

Otro problema que considerar es que la disponibilidad de áreas para la ampliación de la frontera agrícola no es uniforme en toda la región; por el contrario, en varios países del Caribe, el Arco Seco de América Central y las zonas altas de América del Sur y Mesoamérica se ha llegado al límite, lo que ha llevado a un fraccionamiento marcado de la propiedad en minifundios, con poca o ninguna capacidad para sostener la seguridad alimentaria de las familias rurales en esas áreas. Además, una buena parte de las tierras que podrían ingresar a la producción agrícola son adecuadas sólo para ciertos cultivos, y no necesariamente para aquellos con mayor demanda. Por otro lado, una buena proporción del área con potencial de incorporarse a la producción intensiva de cultivos sufren de limitantes serias de fertilidad y de condiciones físicas del suelo, presentan condiciones favorables para el desarrollo de plagas y enfermedades, y requieren de infraestructura para la producción y comercialización, las cuales no pueden ser superadas fácilmente y de manera económica (Bruinsma, 2011).

### **1.1.2 LOS RECURSOS AGUA, SUELO Y BIODIVERSIDAD**

La disponibilidad de fuentes de agua en LAC muestra una condición similar a la disponibilidad de tierra, hay volúmenes suficientes, pero con una distribución desigual. Sin duda alguna, es una de las regiones más beneficiadas por los recursos hídricos, ya que recibe el 29% de las precipitaciones del planeta, cuando sólo representa el 15% de la superficie terrestre. Esto puede dar la sensación de que sobra agua en la región; sin embargo, 2/3 de la superficie corresponde a zonas que sufren de escasez hídrica, y que son clasificadas como áridas o semiáridas. Estas incluyen grandes territorios del centro y norte de México, el noreste de Brasil, la región costera de Perú y

Chile, y partes del Chaco en Bolivia, Paraguay y Argentina. Además, dentro de la mayoría de los países se presenta una variedad amplia en pluviometría. Por ejemplo, la precipitación anual de Colombia varía de 300 mm/año en la Península de la Guajira hasta 9.000 mm/año en la Región del Pacífico, y la precipitación anual de México va de menos de 50 mm/año en el desierto de Chihuahua a más de 3.000 mm/año en las selvas de Chiapas (Mahlknecht, 2012).

La amplia variedad de climas en la región genera una serie de regímenes hidrológicos heterogéneos. Como consecuencia, la distribución geográfica de los recursos hídricos y la asignación del agua son muy desiguales. De hecho, dos terceras partes de la población de Centroamérica viven en áreas que drenan en el Océano Pacífico, en donde fluye solamente el 30% de las aguas superficiales. El tercio restante vive en el lado del Caribe en donde se genera el 70% del agua superficial del Istmo. También hay problemas de uniformidad en la disponibilidad de agua a lo largo del año, y este problema se puede ver aún más exacerbado por el cambio climático, la deforestación y el uso inadecuado del suelo.

El manejo del suelo puede afectar significativamente la cantidad y calidad de agua disponible en una cuenca. El balance hidrológico se ve alterado por la deforestación, los cambios del uso del suelo y la cobertura vegetal, la sobre explotación de los acuíferos y el drenaje de cuerpos de agua naturales. En las tres últimas décadas la extracción de agua se ha duplicado en LAC con un ritmo muy superior al promedio mundial. En esta región, el sector agrícola -y especialmente la agricultura de riego- utiliza la mayor parte del agua (70%); le sigue el uso doméstico con un 20% y la industria con un 10%. El problema es aún mayor, porque al mismo tiempo que

se ha aumentado la extracción de agua hasta llegar a niveles críticos que crean conflictos por uso de agua, también se ha provocado la contaminación de muchos acuíferos, ríos y lagos por la falta de tratamiento de aguas residuales, el uso excesivo de abonos y otros agroquímicos, la irrigación no controlada, y la contaminación proveniente de actividades industriales, mineras y energéticas.

En cuanto a los suelos, estos son muy variados en LAC, desde profundos y muy productivos en zonas volcánicas o aluviales hasta suelos superficiales y poco fértiles en muchas zonas con dominancia de formaciones calcáreas (p.e. el Caribe, la península de Yucatán en México, Petén en Guatemala) o en aquellas con topografía muy inclinada. Esta alta variabilidad es el resultado de una gran diversidad en las rocas madre que les dieron origen, así como al gran rango de tiempo transcurrido desde su formación que va desde menos de mil años en tierras volcánicas de Centroamérica y los Andes de Suramérica, hasta suelos sumamente viejos con millones de años de antigüedad. Por la larga exposición al sol y agua, estos suelos viejos tienden a ser altamente lixiviados y, por ende, empobrecidos en nutrientes como es el caso en las sabanas ácidas del norte de Suramérica o en el escudo de las Guayanas. La mayor parte de los suelos en el Amazonas y en las regiones montañosas de los Andes, de Centroamérica y el Caribe son sumamente frágiles y pueden perder su fertilidad rápidamente una vez que pierden la protección de la cobertura boscosa (Montgomery 2012, FAO Comerma et al, 2015). Esta característica es fundamental de tomarla en cuenta cuando se diseñan sistemas de uso de la tierra sostenibles (Muschler 2016).

Para LAC se estima que el 14% de los suelos están degradados, en el caso de Centroamérica estos representan el 26%, mientras que en

América del Sur es un 14%. En la región, cuatro países tienen más del 40% de su territorio nacional degradado, mientras que en 14 países la degradación de suelos cubre entre el 20% y 40%. Hay casos extremos, con el de Haití con más del 50% de los suelos severamente degradados, mientras que en los países del Cono Sur hay áreas importantes cubiertas por suelos de aptitud alta.

Las principales causas de la degradación incluyen la deforestación que elimina la cobertura permanente de los suelos, que fomenta la erosión hídrica, el impacto sobre los ciclos de carbono © y nitrógeno (N), los que resultan en pérdidas de carbono orgánico, así como en desbalances de nutrientes, la pérdida de biodiversidad de organismos en el suelo, la compactación, el anegamiento, la contaminación, el sellado del suelo y la salinización (FAO, 2015). Esto se ve además comprometido por el uso de técnicas de labranza inadecuadas que degradan la estructura y reducen la fertilidad de los suelos. La degradación también está asociada con la pobreza y la falta de acceso a los recursos tierra y agua, lo cual se confirma con el hecho que el 40% de las tierras más degradadas del mundo están en zonas con tasas de pobreza elevadas. El problema se complica en el caso de los agricultores pobres, pues ellos tienen menos acceso a tierras, agua e insumos, y frecuentemente se ven obligados a trabajar suelos (muchas veces ajenos y sin títulos) de mala calidad y con una alta vulnerabilidad a la degradación.

Con respecto a la biodiversidad, América Central, algunas áreas de Suramérica (sobre todo en la región Andina, el Amazonas y los bosques Atlánticos de Brasil) y el Caribe son considerados “hotspots”<sup>5</sup> de biodiversidad, pues poseen una alta concentración de especies únicas, incluyendo muchas

---

5. Un “hotspot” debe contener al menos el 0.5% de las 300.000 especies de plantas vasculares descritas como especies endémicas.  
6. Especies endémicas: son las que tienen su distribución restringida a un territorio determinado.

consideradas endémicas<sup>6</sup>. Sólo el Caribe contiene más de 2,500 especies de plantas endémicas, Costa Rica alberga el 4% del total de especies y América del Sur posee casi 17.000 especies amenazadas de extinción. Por ende, son necesarios los esfuerzos para lograr un balance entre las necesidades de producción agropecuaria y forestal de un lado y las necesidades de conservación de hábitat y biodiversidad del otro (Harvey et al 2008).

## 1.2 PRODUCCIÓN Y PRODUCTIVIDAD AGROPECUARIA EN LATINOAMÉRICA Y EL CARIBE

En los últimos 50 años el crecimiento de la productividad agrícola en LAC ha sido en promedio de 1.2 % por año (Díaz-Bonilla et al, 2014), pero para responder a la demanda de la población creciente en los próximos años este debería ser superior al 2% anual (Truitt y Ziegler, 2014). El reto es mayor para los países de América Central y el Caribe, pues en ellos se ha alcanzado apenas un 1.1% de crecimiento anual en los últimos 50 años. Bruinsma (2011) sugiere que el 80% de ese crecimiento debe ser producto del incremento en los rendimientos y en la intensificación de los sistemas en las áreas aptas, y el 20% restante debe resultar de la expansión de áreas dedicadas a la agricultura, pero en áreas con potencial para el uso agrícola. El mismo autor sugiere que el potencial para aumentar los rendimientos -aún con la tecnología disponible actualmente- es considerable, si es que se disponen de los incentivos socioeconómicos apropiados.

En el Cuadro 1 se presentan las áreas dedicadas a los diferentes cultivos en las tres regiones

(Mesoamérica, Caribe y Sur América) en el período 2014-2015, y las tendencias de cambios observados en los últimos 10 años. En términos del área cultivada, los cultivos con mayor cobertura son soya, maíz, caña de azúcar, trigo, frijoles, café y arroz. En los últimos 10 años en Suramérica ha habido incrementos importantes para soya, maíz, caña de azúcar, piña y aguacate, mientras que en Mesoamérica los mayores incrementos se han dado para frutales. En el Caribe se han presentado incrementos de área sembrada para piña, aguacate, mangos, cacao y arroz; y se han reducido las siembras de café, plátanos, caña de azúcar, papas y naranjas.

En cuanto a la productividad de los cultivos (Cuadro 2), en términos generales se observa una tendencia clara y consistente que los rendimientos por hectárea son más altos en América del Sur que en América Central y México, y estos a su vez superan las productividades Av refleja no solamente las diferencias en la aptitud agrícola y fertilidad de los suelos, sino también en las dimensiones de los terrenos trabajados, así como una mayor disponibilidad y distribución de agua tanto de lluvia como de riego, y el mayor uso de insumos y maquinaria en muchas zonas del Cono Sur. Sin embargo, para la valoración holística de los diferentes sistemas productivos hay que considerar que, en muchos casos -en especial de agricultura familiar-, los cultivos se siembran en asocio, y si bien en ellos se puede afectar negativamente la productividad de los componentes individuales, pero la productividad total del sistema generalmente es mayor.



**Cuadro 1. Área cosechada de los cultivos más importantes en LAC  
(según datos de USDA-FAS, y de FAOSTAT para café).**

Cultivo	América Central y México	Caribe	Suramérica	Total LAC	Cambios en los últimos 10 años		
					Am Central y México	Caribe	Suramérica
Usos en el 2012	1.000 ha						
Soya	266	0	58.351	58.617	+	0	+++
Maíz	9.052	558	22.427	32.037	0	0	+++
Caña de azúcar	1.386	637	11.808	13.831	+	--	+++
Trigo	826	0	7.732	8.558	0	0	0
Frijoles	2.461	327	3.938	6.725	0	+	--
Café	1.609	181	3.364	5.154	+	--	0
Arroz	332	445	4.297	5.074	0	+	-
Sorgo	1.899	116	1.626	3.641	+	0	+
Yuca	55	232	2.148	2.435	+	+	-
Cebada	317	0	1.721	2.038	+	0	+
Cacao	84	198	1.422	1.705	-	++	++
Bananos	225	148	808	1.181	+	+	-
Papa	90	9	913	1.013	+	---	0
Plátanos (cocción)	52	153	776	981	+	-	+
Naranja	317	0	620	937	0	--	0
Vegetales	128	88	324	540	+	-	+
Mango, "mangosteen", guayaba	227	142	162	531	++	++	++
Tomate	113	53	136	302	--	--	-
Aguacate	114	32	123	269	++	+	+++
Piña	85	19	138	243	+++	+++	+++
Camote	4	130	100	233	0	0	-
Calabazas y ayotes	35	66	46	147	0	-	-
Manzana	55	0	89	144	-	0	++
Centeno	0	0	37	37	0	0	-
Pera	4	0	29	33	-	0	+
Mandarinas/tangerinas	0	0	31	31	0	0	0-
Mijo (millet)	0	0	20	20	0	--	--
<b>Subtotal cultivos</b>	<b>19.494</b>	<b>3.414</b>	<b>122.739</b>	<b>146.188</b>			

**+ = aumento; - = disminución; 0 = no cambio**

Esta tendencia se hace aún más importante cuando se considera la sostenibilidad a largo plazo de un sistema de producción dado. La mayoría de los monocultivos degradan el ambiente fuertemente a lo largo de décadas, tanto por su efecto negativo sobre la fertilidad del suelo como por sus impactos ambientales por residuos de agroquímicos y por la reducción o hasta eliminación de biodiversidad funcional importante. Un testimonio tangible de esta realidad es el colapso mundial de las poblaciones de abejas y la contaminación fuerte de acuíferos en zonas manejadas bajo monocultivos.

**Cuadro 2. Productividad de algunos cultivos en LAC para el período 2014-2015 (según datos de USDA-FAS, y de FAOSTAT para café).**

Cultivo	América Central y México	Caribe	Suramérica
Usos en el 2012	t/ha		
Arroz	2.37	2.23	3.59
Café	0.60	0.39	1.14
Cebada	2.37	---	3.46
Centeno	---	---	1.86
Maíz	3.23	1.24	4.80
Mandarinas/tangerinas	---	---	11.29
Manzana	14.01	---	33.49
Mijo (millet)	---	---	1.25
Naranja	15.44	---	24.38
Pera	6.02	---	29.55
Sorgo	3.12	0.79	3.19
Soya	1.40	---	2.86
Trigo	4.54	---	2.77

Usando como ejemplo la producción de maíz, uno de los cultivos de mayor importancia en LAC, se observa que en los últimos 50 años ha habido un aumento marcado en el área sembrada, en la producción total y en la productividad en cada una de las tres regiones (Cuadro 3). También se nota una diferencia muy marcada en las tasas de aumento entre las regiones: en general, para los tres parámetros, las tasas de aumento son más altas para Suramérica, seguido por Mesoamérica y, finalmente, el Caribe. Esta diferencia es particularmente marcada en las tasas de crecimiento anual observadas en los últimos 10 años, de manera particular en el caso de Suramérica, lo cual puede deberse a las condiciones más favorables para la producción de maíz en sistemas intensivos en grandes extensiones planas como las que se encuentran en las zonas maiceras de Suramérica, y no tanto así en Mesoamérica (excepto en algunas regiones de México), y menos aún en el Caribe.

**Cuadro 3. Área cosechada, producción y productividad de maíz en América Latina y el Caribe de 1965 a 2015 (Datos de USDA-FAS).**

Maíz	Año						Crecimiento anual promedio (%)	
	1965	1975	1985	1995	2005	2015	1965-2015	2005-2015
Área cosechada (1,000 ha)								
Caribe	455	394	205	309	536	558	<b>0,37</b>	<b>0,39</b>
América Central y México	9.008	9.755	7.724	9.677	8.323	9.052	<b>0,01</b>	<b>0,81</b>
Suramérica	14.426	16.277	18.541	18.965	17.970	22.427	<b>0,71</b>	<b>1,99</b>
Producción (1000 ton)								
Caribe	383	268	210	331	655	691	<b>0,89</b>	<b>0,52</b>
América Central y México	9.454	11.350	12.948	20.864	22.363	29.271	<b>1,35</b>	<b>2,36</b>
Suramérica	21.355	27.121	37.364	49.071	66.726	107.596	<b>1,60</b>	<b>3,80</b>
Productividad (ton/ha)								
Caribe	0,84	0,68	1,02	1,07	1,22	1,24	<b>0,64</b>	<b>0,13</b>
América Central y México	1,05	1,16	1,68	2,16	2,69	3,23	<b>1,35</b>	<b>1,69</b>
Suramérica	1,48	1,67	2,02	2,59	3,71	4,80	<b>1,38</b>	<b>2,26</b>

En cuanto a la producción bovina de leche (Cuadro 4), el número de vacas en ordeño se ha mantenido más o menos estable en los últimos 30 años en el Caribe, mientras que en Mesoamérica y América del Sur se han dado incrementos importantes (Cuadro 4). La alta tasa de crecimiento de la población de vacas de leche en los últimos 10 años, en América Central y México (4.9%) es producto de que muchos productores de sistemas de carne/cría se movieron hacia el doble propósito (carne y leche).

Por otro lado, los mayores niveles de producción de leche por vaca en Mesoamérica comparado con los obtenidos en América del Sur hay que tomarlos como las medias regionales que

incluyen no sólo a los países del Cono Sur y las Zonas Andina y Amazónica de Suramérica, pues si fuera sólo el caso de los países del Cono Sur estos deberían ser mayores, dado que ahí se dan condiciones para una mayor producción con las razas europeas y forrajes de zona templada predominantes, pero el promedio regional incluye otras áreas con sistemas menos intensivos, de menor productividad y con una mayor población de vacas de ordeño. Por otro lado, a lo largo de los años, el balance importación/ exportación de leche ha sido positivo en Sur América, mientras que en América Central y México la brecha entre importación y exportación ha tendido a reducirse en los últimos años.

**Cuadro 4. Tamaño del hato, productividad y nivel de importaciones y exportaciones de leche en América Latina y el Caribe para el período 1984-2014 (FAOSTAT 2017).**

Región	Año				Crecimiento anual (%)	
	1984	1994	2004	2014	1984-2004	2004-2014
Número de vacas x 1000						
Caribe	1.237	1.030	1.036	1.207	<b>-0,81</b>	<b>1,42</b>
América Central y México	3.366	3.597	3.134	6.096	<b>-0,34</b>	<b>4,86</b>
América del Sur	26.604	31.888	34.188	37.466	<b>1,43</b>	<b>0,87</b>
Producción de leche, kg/vaca						
Caribe	1.640,6	1.427,8	1.295,2	1.417,6	<b>-1,05</b>	<b>0,86</b>
América Central y México	2.456,0	2.575,3	2.499,9	2.448,4	<b>0,09</b>	<b>-0,21</b>
América del Sur	1.031,5	1.128,6	1.389,7	1.722,7	<b>1,74</b>	<b>1,93</b>
Exportaciones de leche, x 1000 TM/año						
Caribe	4	13	5	2	<b>1,35</b>	<b>-14,74</b>
América Central y México	5	43	179	342	<b>189,89</b>	<b>4,76</b>
América del Sur	158	321	1.732	2.984	<b>49,69</b>	<b>4,20</b>
Importaciones de leche, x 1000 TM/año						
Caribe	233	201	482	622	<b>5,34</b>	<b>2,25</b>
América Central y México	1.205	1.236	2.057	900	<b>3,54</b>	<b>-12,85</b>
América del Sur	821	1.160	1.460	2.055	<b>3,90</b>	<b>2,90</b>

Para la producción de carne, las tres regiones presentan incrementos modestos en número de animales, pero las mayores tasas de incremento anual en la producción de carne sugieren que la productividad por animal ha aumentado, especialmente en los últimos 10 años (Cuadro 5). Los países del Caribe han sido consistentemente importadores netos de carne y los de América del Sur han mostrado una fuerte dominancia como exportadores. En el caso de América Central y México, si bien se importa carne -especialmente de cortes finos-, en la última década se han logrado incrementos en las exportaciones, y se espera que esa tendencia continúe en los próximos años.

**Cuadro 5. Tamaño del hato, productividad y nivel de importaciones y exportaciones de carne en América Latina y el Caribe para el período 1984-2014 (FAOSTAT 2017)**

Región	Año				Crecimiento anual (%)	
	1984	1994	2004	2014	1984-2004	2004-2014
<b>Número de Animales x 1000</b>						
Caribe	9.668	9.321	8.898	9.355	<b>-0,40</b>	<b>0,26</b>
América Central y México	42.421	43.157	43.501	46.989	<b>0,13</b>	<b>0,40</b>
Suramérica	249.733	289.150	345.560	351.851	<b>1,92</b>	<b>0,09</b>
<b>Producción de Carne, x 1000 TM</b>						
Caribe	247	199	185	223	<b>-1,26</b>	<b>2,05</b>
América Central y México	1.229	1.570	1.860	2.264	<b>2,57</b>	<b>2,17</b>
América del Sur	7.648	9.739	12.315	15.665	<b>3,05</b>	<b>2,72</b>
<b>Importaciones de Carne, x 1000 TM</b>						
Caribe	48	35	32	49	<b>-1,67</b>	<b>5,31</b>
América Central y México	28	123	368	251	<b>60,71</b>	<b>-3,18</b>
América del Sur	62	90	239	533	<b>14,27</b>	<b>12,30</b>
<b>Exportaciones de Carne, TM</b>						
Caribe	4	7	1	2	<b>-3,75</b>	<b>10,00</b>
América Central y México	89	87	72	277	<b>-0,96</b>	<b>28,47</b>
América del Sur	1.109	902	2.040	2.790	<b>4,20</b>	<b>3,68</b>

### 1.3 LA DEMANDA DE ALIMENTOS Y EL ESTATUS NUTRICIONAL EN AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE

En Latinoamérica y el Caribe, la mejora en el nivel de ingreso y la movilidad de parte de la población rural al medio urbano han traído cambios en los hábitos alimentarios de la población, los cuales han resultado en aumentos en el consumo per cápita de alimentos y consecuentemente en la demanda de estos. Entre 1969 y 1999 el consumo de alimentos se ha incrementado de 2,465 a 2,836 kcal persona<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup>, y se estima que en el 2050 llegará a 3,200 kcal (Keaney, 2010), valores que están por encima del consumo mínimo (1,950 kcal persona<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup>). Un patrón similar se ha observado en el caso de la proteína. Sin embargo, esto no significa que toda la población esté alcanzando esos niveles, por el contrario, debido al incremento

en la desigualdad en los ingresos entre grupos sociales dentro de países y entre países, se han observado diferencias marcadas en los niveles de desnutrición y en el retardo del crecimiento infantil.

Algunos extremos para dichos parámetros en la región se han observado por un lado en el caso de Costa Rica (1.1 y 5.6%), y en el otro extremo Haití (15.3 y 30.1%) y Guatemala (8.0 y 54.5%, respectivamente). Algunos países como Brasil, México y Nicaragua mostraron cambios favorables importantes en relativo corto tiempo, mientras que en otros los cambios han sido lentos (Lutter et al., 2011).

El gran desafío es cómo lograr mejorar la oferta de alimentos y el estatus nutricional de la población de Latinoamérica y el Caribe, más aún si se acepta que el cambio climático afectará la producción de alimentos, a no ser

que se promuevan medidas para reducir la vulnerabilidad de los sistemas agropecuarios. La información disponible sugiere que es posible incrementar la productividad -aún con las tecnologías existentes-, y así acortar la brecha entre la producción actual y potencial, siempre y cuando se provean condiciones socioeconómicas favorables para el cambio tecnológico.

Las mejoras en productividad no van a ocurrir espontáneamente como resultado de las fuerzas de mercado, sino que va a requerir de importantes intervenciones e inversiones públicas en la investigación para el desarrollo y en la implementación de alternativas que permitan rehabilitar áreas degradadas e intensificar la producción reduciendo la vulnerabilidad de los sistemas de producción a los impactos ambientales negativos (Bruinsma, 2011).

## 2. EL CAMBIO CLIMÁTICO Y SUS EFECTOS SOBRE LA PRODUCCIÓN AGROPECUARIA EN LATINOAMÉRICA Y EL CARIBE

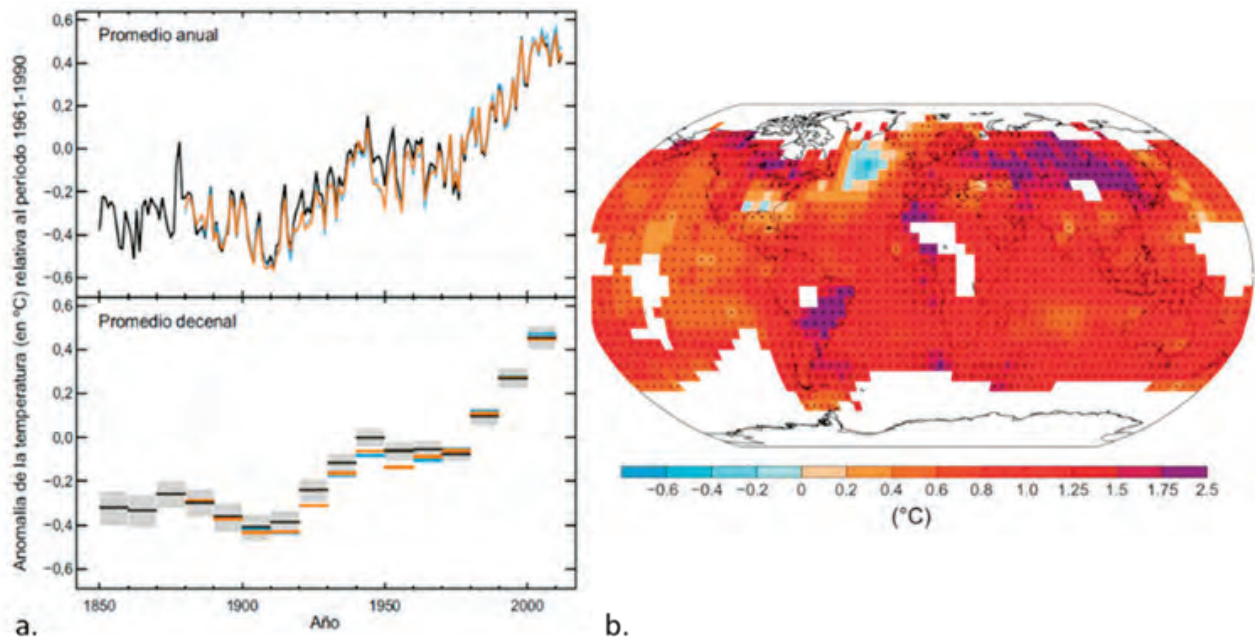
### 2.1 DINÁMICA GLOBAL DEL CAMBIO CLIMÁTICO

El cambio climático es definido por el IPCC (2014) como “la variación del estado del clima, identificable (por ejemplo, mediante pruebas estadísticas) por los cambios del valor medio o en la variabilidad de sus propiedades, que persiste durante largos períodos de tiempo, generalmente expresada como décadas o períodos aún más largos”. El cambio climático puede deberse a procesos internos naturales o a forzamientos externos tales como las modulaciones de los ciclos solares, erupciones volcánicas o cambios antropogénicos persistentes de la composición de la atmósfera o del uso del suelo.

La temperatura y la precipitación son las variables con las que se puede evaluar los efectos del cambio climático sobre los diferentes sistemas naturales y sociales. Con respecto a la temperatura, a nivel mundial se observan cambios rápidos en términos de su incremento  $0,85^{\circ}\text{C}$  entre 1880 - 2012 (Figura 2), los cuales influyen no solo en los ciclos naturales, si no que trasciende

necesariamente a los sistemas humanos, ya que influyen en el aumento de los procesos de degradación de los suelos, el incremento en el ascenso del nivel del mar debido al derretimiento de los casquetes polares, entre otros efectos. Ellos pueden afectar directa o indirectamente al sector agropecuario, ya sea por la degradación o la desertificación de los suelos que no les va a permitir mantener la productividad de los cultivos en largo plazo, o por el incremento y aparición de nuevas plagas (IPCC 2013).

En cuanto a la precipitación, se plantea que para finales de este siglo habrá una alta probabilidad de mayor frecuencia e intensidad de los fenómenos de precipitación extrema en la mayoría de las áreas de latitud media y en las regiones tropicales húmedas, conforme vaya aumentando la temperatura media global en superficie (IPCC 2013).



**Figura 2.** Cambio de la temperatura observados entre 1901 - 2012. Derivados de la tendencia de temperatura determinada por una regresión lineal de un conjunto de datos, representados por la Línea naranja de la imagen (a) y, expresados espacialmente en la imagen (b). (IPCC, 2014).

El IPCC (2013) en su quinto informe sobre las bases físicas plantea que la dinámica del cambio climático podría verse representada en siete fenómenos relacionados con variabilidad en términos de fenómenos meteorológicos y climáticos extremos y su probabilidad de ocurrencia, así como el nivel de confianza para su ocurrencia, los cuales se describen en el Cuadro 6. De hecho, la Base de Datos Internacional sobre Desastres (EM-DAT) de OFDA/CRED señala que la frecuencia de inundaciones y sequías en Latinoamérica y el Caribe ha aumentado 20 veces en los últimos 60 años. Desde 1950 se han registrado aumentos en la frecuencia e intensidad de días y noches cálidos, olas

de calor, fuertes precipitaciones, sequías y actividades ciclónicas (IPCC 2013). En América Central la frecuencia de las inundaciones ha aumentado en más del doble entre 1970-1989 y 1990-2009. En el periodo 1995-2007, como consecuencia de eventos climáticos, en el Perú se perdió la producción de cultivos en 444,707 ha, con un costo estimado de US\$910 millones. En América Central el sector agrícola reportó pérdidas estimadas de US\$155 millones y de más de US\$355 millones como consecuencia del impacto del huracán Mitch y de la tormenta tropical Stan, respectivamente (Vergara et al, 2014).

**Cuadro 6. Fenómenos meteorológicos y climáticos extremos, identificados por el IPCC en su quinto informe sobre las bases físicas para el climático, evaluación a escala mundial sobre los cambios observados, así como la contribución de las actividades humanas. (Adaptado de IPCC, 2013).**

Fenómeno	Probabilidad de ocurrencia a partir de evaluación desde 1950	Contribución humana a cambios observados	Posibilidad de ocurrencia futura	
			Principios del siglo XXI	Finales del siglo XXI
Días y noches fríos más cálidos y/o menos numerosos en la mayoría de las zonas continentales.	Muy probable	Muy Probable	Probable	Prácticamente seguro
Días y noches calurosos más cálidos y/o más frecuentes en la mayoría de las zonas continentales.	Muy probable	Muy probable	Probable	Prácticamente seguro
Episodios cálidos/olas de calor. Mayor frecuencia y/o duración en la mayoría de las zonas continentales.	“Nivel de confianza medio a escala mundial. (2.6) Probable en gran parte de Europa, Asia y Australia”	Probable	Las proyecciones de los modelos señalan aumentos a corto plazo en duración, intensidad y extensión espacial de las olas de calor y los episodios cálidos.	Muy probable
Episodios de precipitación intensa. Mayor frecuencia, intensidad y/o cantidad de precipitación intensa	Es probable que haya más zonas continentales con aumentos que con disminuciones	Nivel de confianza medio	Probable en muchas zonas continentales	Muy probable en la mayoría de las masas terrestres de latitud media y en las regiones tropicales húmedas
Mayor intensidad y/o duración de la sequía.	Nivel de confianza bajo a escala mundial. Cambios probables en algunas regiones.	Nivel de confianza bajo	Nivel de confianza bajo	Probable (nivel de confianza medio) a escala regional y mundial.
Mayor intensidad de actividad de los ciclones tropicales.	Nivel de confianza bajo respecto de cambios (centenarios) a largo plazo. Prácticamente seguro en el Atlántico Norte, desde 1970.	Nivel de confianza bajo	Nivel de confianza bajo	Más probable que improbable en la zona occidental del Pacífico Norte y el Atlántico Norte.
Mayor incidencia y/o magnitud de niveles del mar extremadamente altos.	Probable (desde 1970)	Probable	Probable	Muy probable

## 2.2 ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO (RCP)<sup>7</sup> ESPERADOS PARA AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE

Los escenarios de cambio climático se refieren a la representación de interacciones complejas entre el sistema climático terrestre, los ecosistemas, y las actividades humanas, los cuales permiten definir de manera coherente consistente y evidente cuál puede ser la situación en el futuro. Más allá de una proyección, el escenario es la imagen de un posible futuro, en otras palabras, una caracterización o descripción de la situación futura del planeta (IPCC, 2013).

A partir del Quinto Informe (AR5) del Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC), los escenarios de cambio climático se definen como trayectorias de concentración representativas (RCP); la característica de

estos escenarios es el forzamiento radiativo total para el año 2,100 el cual oscila entre 2.6 y 8.5 vatios por metro cuadrado (W/m<sup>2</sup>). El forzamiento radiativo se define como un cambio en la radiación (calor) entrante o saliente de un sistema climático, si este cambio es positivo tiende a calentar el sistema, es decir, habrá más energía recibida que emitida, mientras que si este cambio es negativo lo tenderá a enfriar. El forzamiento es causa de factores tales como: cambios en la radiación solar incidente, incrementos en la concentración de gases de efecto invernadero, o cambios en las propiedades reflectivas del planeta (IPCC, 2013). Los RCP (Cuadro 3), proporcionan solamente uno de los posibles escenarios que pueden conducir a las características de un forzamiento radiativo dado, además de los niveles de concentración junto con la trayectoria que ha tomado para llegar a dicho nivel.

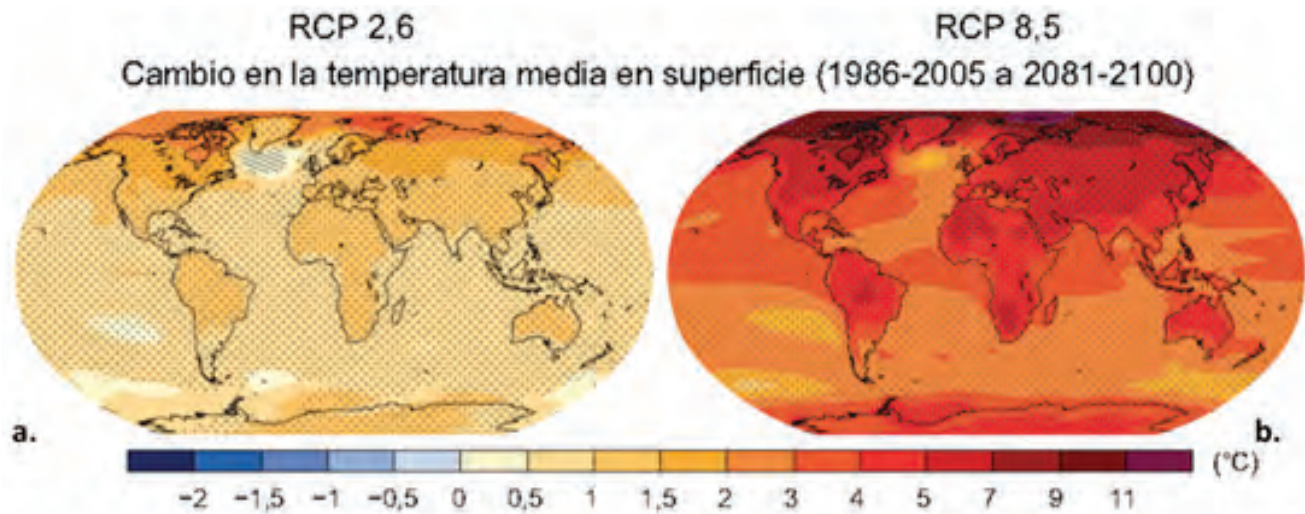
**Cuadro 7. Fenómenos RCP (trayectorias de concentración representativas), planteados en el AR5 (IPCC, 2013).**

RCP	Forzamiento radiativo	Concentración	Forma del itinerario
RCP 8.5	> 8.5 w/M <sup>2</sup> en 2100	>≈ 1370CO <sub>2</sub> - eq en 2100	En aumento
RCP 6.0	Estabilización en ≈6 W/m <sup>2</sup> a partir de 2100	≈850 CO <sub>2</sub> -eq (estabilización, a partir de 2.100)	Estabilización sin traslimitaciones
RCP 4.5	Estabilización en ≈4.5 W/m <sup>2</sup> a partir de 2100	≈650 CO <sub>2</sub> -eq (estabilización, a partir de 2.100)	Estabilización sin traslimitaciones
RCP 2.6	Máximo a ≈3W/m <sup>2</sup> antes de 2100; disminución posterior	Máximo a ≈490 CO <sub>2</sub> -eq antes de 2100; disminución posterior	Culminación seguida de disminución

En la Figura 3, se presenta el cambio de la temperatura media anual calculado por el IPCC (2014), el cual representa los cambios de la temperatura media anual (°C) entre la línea temporal base (1986 - 2005) y un período futuro (2081 - 2100) bajo dos escenarios extremos RCP 2.6 y 8.5, donde se observa la tendencia al incremento de la temperatura media anual en el planeta, el mismo que será mucho más marcado en las regiones polares, seguido por las regiones tropicales y algo menores en el Cono Sur.

7. Representative Paths Concentration o Trayectorias representativas de concentración: Éstas se identifican por su forzamiento radiativo total para el año 2100. que varía desde 2,6 a 8,5 W/m<sup>2</sup>

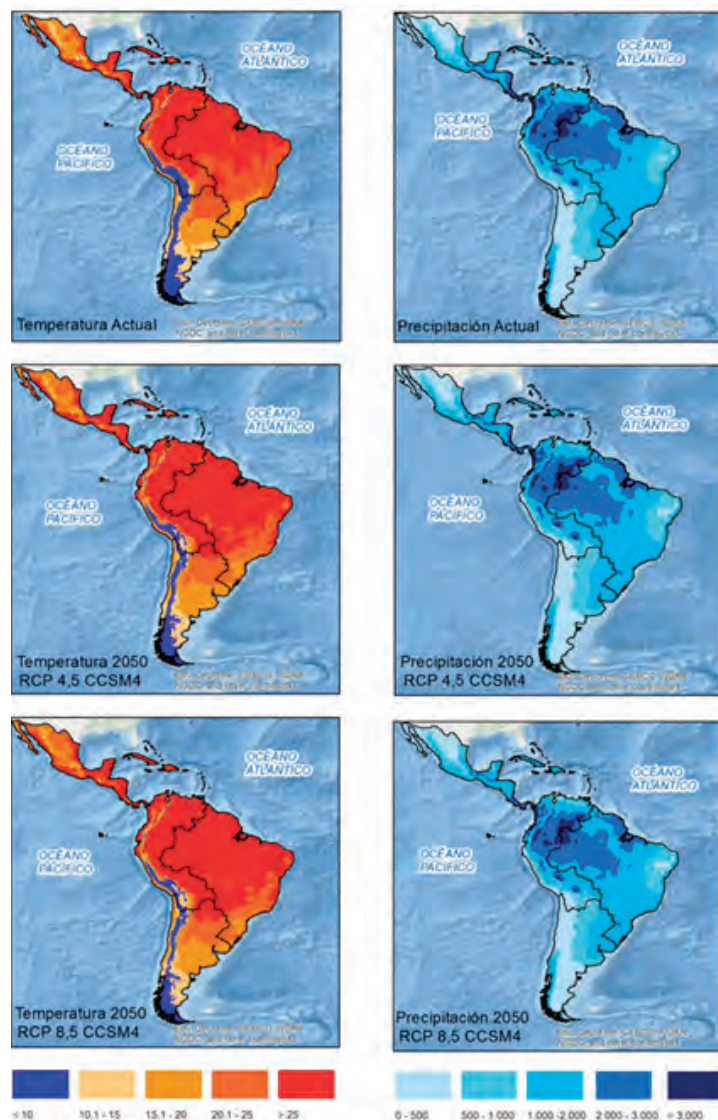




**Figura 3.** Cambio de la temperatura media anual entre la línea temporal base y un período futuro. (a) Línea base (1986 - 2005); (b) Escenario futuro: 2081 - 2100. (IPCC, 2013).

Teniendo en cuenta dos situaciones de RCP, uno conservador (4.5) y uno extremo (8.5), se plantea que para el 2,050 el incremento de la temperatura en Latinoamérica será de 1 y 2°C para los escenarios conservador y extremo, respectivamente (Figura 4). En las condiciones actuales (línea de base), 6,707,335 Km<sup>2</sup> se encuentran en la zona que está bajo un rango de 25 - 29°C, mientras que para el año 2,050 se prevé que 11,850,589 Km<sup>2</sup> y 12,732,104 Km<sup>2</sup> registrarán temperaturas entre 25 - 31°C bajo los escenarios de RCP 4.5 y 8.5, respectivamente. Del mismo modo, se observa que los países más afectados por ese incremento en temperatura serían los centroamericanos, principalmente en sus zonas costeras, así como los países del Norte de Suramérica, i.e., Colombia, Venezuela, Brasil, Ecuador y Perú (Figura 4).

A diferencia de lo observado para la temperatura, los modelos no permiten predecir claramente los cambios en la precipitación; sin embargo, se puede deducir que las áreas que se encuentran en rangos de alta precipitación (entre 2.000 - 3.000 mm) disminuirán en el periodo 2050 bajo los dos escenarios analizados RCP 4.5 - 8.5 (Figura 3). En contraste, las áreas con precipitación entre 1.000 - 2.000 mm podrían incrementarse, cualquiera sea el escenario futuro. Los datos también sugieren que los países más vulnerables al cambio climático en Latinoamérica y el Caribe son Haití, Honduras, Nicaragua y Guatemala (Kreft et al. 2014).



Temperatura media	Área Porcentaje (%)			
	Rango °C	Actual	RCP 4,5	RCP 8,5
	< 10	10.77	8.16	7.34
	10 - 15	7.98	7.03	7.14
	15 - 20	16.41	14.23	13.14
	20 - 25	28.43	20.34	18.41
	> 25	36.41	50.24	53.97

Precipitación media	Área porcentaje (%)			
	Rango mm	Actual	RCP 4,5	RCP 8,5
	0 - 500	18.55	18.84	19.24
	500 - 1.000	18.71	19.21	19.88
	1.000 - 2.000	37.77	38.44	38.79
	2.000 - 3.000	20.90	19.70	18.45
	> 3.000	4.08	3.81	3.64

Área total (Km<sup>2</sup>): 23.590.066

Proyecto: Innovaciones para fomentar la adaptación al cambio climático del sistema productivo agrícola y ganadero en América Latina y el Caribe



**Información de Referencia**

Projected Coordinate System: WGS\_1984\_World\_Mercator  
 Projection: Mercator  
 False\_Easting: 0.00000000  
 False\_Northing: 0.00000000  
 Central\_Meridian: 0.00000000  
 Standard\_Parallel\_1: 0.00000000  
 Linear Unit: Meter

Geographic Coordinate System: GCS\_WGS\_1984  
 Datum: D\_WGS\_1984  
 Prime Meridian: Greenwich  
 Angular Unit: Degree

Fuente: Worldclim Version 1.4

**Figura 4.** Cambio de la temperatura media anual y precipitación para Latinoamérica, bajo dos escenarios de cambio climático. RCP4.5 - 8.5. Se observa la tendencia al incremento de la temperatura a lo largo de la región. Fuente: Worldclim versión 1.4. (Hijmans, et al. 2005).

## 2.3 TENDENCIAS E IMPACTOS RELEVANTES DEL CAMBIO CLIMÁTICO SOBRE LOS RECURSOS NATURALES Y LA PRODUCCIÓN AGROPECUARIA

De acuerdo con el IPCC (2014) el impacto del cambio climático en América Latina y el Caribe para el año 2050 se debe manifestar de la siguiente manera:

- i. Cambio gradual de los bosques del este de la Amazonia hacia Sabanas, y la vegetación semiárida tenderá a ser reemplazada por vegetación de tierras áridas. También se presentarán cambios en la distribución de algunas especies y en muchos casos extinciones locales y globales de especies, debido a los cambios rápidos de temperatura.
- ii. Salinización y desertificación de tierras agrícolas, en zonas secas. Se prevé una reducción en la productividad de algunos cultivos importantes, y en la productividad de la ganadería, lo cual tendrá consecuencias desfavorables sobre la seguridad alimentaria.
- iii. El cambio en los regímenes de precipitación y la desaparición de glaciares, se reflejarán en disminución de la disponibilidad del agua para diferentes usos: consumo humano, agricultura y generación de energía.

### 2.3.1 Biomasa Terrestres

Bioma es una gran área geográfica donde se comparte fauna, flora y condiciones climatológicas, donde la temperatura y precipitación son los principales factores que influyen en su clasificación. La latitud determina si un ambiente es ártico, templado, subtropical o tropical; la precipitación determina si el ambiente es húmedo, semihúmedo, semiárido o árido; y la altitud también afecta la clasificación, variando desde el nivel del mar a las áreas de montaña.

En los países tropicales, pequeños cambios en el clima pueden tener impactos negativos más devastadores sobre la biodiversidad que en

otras regiones del planeta, pues en los trópicos el clima tiende a presentar pocas variaciones estacionales; en cambio en los biomas de zona templada, las especies de fauna y flora están habituadas a cambios extremos de temperatura con las estaciones, i.e., verano e invierno.

Para efecto del presente informe se ha considerado la clasificación de los biomas con base en la características biológicas y climáticas. Los biomas considerados son: i. Bosque húmedo, ii. Bosque seco, iii. Bosque templado, iv. Bosque de coníferas tropicales, v. Bosque esclerófilo, vi. Desiertos y matorrales xerofíticos, vii. Manglares, viii. Praderas y matorrales, ix. Sabanas inundables (Figura 5).

En los párrafos siguientes se presenta una breve descripción de los diferentes tipos de biomas.

**i. Bosque húmedo.** Se caracteriza por altas temperaturas durante todo el año, con cambios de temperatura dentro del día mayores que las diferencias de medias estacionales. La longitud del día presenta variaciones mínimas a lo largo del año. La precipitación puede ser estacional, casi en todas las áreas de bosque húmedo se presentan unos pocos meses con menos de 100 mm de lluvia, y en unas pocas de alta humedad, la precipitación mensual es > 100 mm todo el año. Esto tiene implicaciones en la diversidad de fauna y flora presente en este bioma. En las áreas cercanas al Ecuador se puede presentar un patrón de lluvias bimodal, mientras que es unimodal en las latitudes alejadas del Ecuador. Los vientos fuertes están asociados con las tormentas o con la estación seca (Sánchez, 2012).

**ii. Bosque seco.** Es aquella formación vegetal que presenta una cobertura boscosa continua y que se distribuye entre los 0-1000 m de altitud; presenta una temperatura media anual > 24°C (piso térmico cálido) y precipitaciones entre los 700 y 2000 mm anuales, con uno o dos periodos marcados de sequía dentro del año (Sánchez 2012).

**iii. Bosque templado.** Se encuentra en las áreas templadas y templado-frías de América del Sur. Gran parte del bosque ya ha sido talado para la obtención de madera y el aprovechamiento del suelo con fines agropecuarios. La vegetación nativa es predominantemente arbórea, aunque también hay arbustos y plantas herbáceas. Dentro de este bioma se distinguen dos formaciones: el bosque caducifolio y el de coníferas. La temperatura media anual es de 23°C, y el promedio anual de precipitaciones de 1,000 mm.

**iv. Bosque de coníferas tropicales.** Bioma forestal compuesto por especies de árboles y arbustos espinosos, coníferas y plantas suculentas (i.e., abetos, pinos, cipreses, alerces y abedules). Este bioma se presenta en latitudes tropicales y subtropicales, en zonas bajas de clima tropical semi-húmedo con una estación seca larga y escasas precipitaciones.

**v. Bosque esclerófilo.** Este bioma es una formación vegetal que se encuentra comúnmente en Chile y el Norte de México, en suelos pobres de ladera, en zonas templadas con un periodo corto de alta precipitación y veranos secos. Debido a la gran riqueza y singularidad de la flora terrestre del bosque esclerófilo, esta área es considerada uno de los 25 puntos prioritarios para la conservación de la biodiversidad global (Armesto et al. 2007; Myers et al., 2000).

**vi. Desiertos y matorrales xerofíticos.** En ellos predomina la vegetación de arbustos, plantas de porte herbáceo y plantas geófitas<sup>8</sup>. El ecosistema xerofítico se caracteriza por la escasez significativa de agua, con una vegetación de cactus y matorrales espinosos con baja demanda hídrica.

**vii. Manglares.** Bioma conformado por árboles muy tolerantes a las sales existentes

en las franjas intermareales de las costas tropicales y subtropicales, cercana a la desembocadura de cursos de agua dulce en latitudes tropicales y subtropicales. Entre las áreas de manglares se incluyen estuarios y zonas costeras. Tienen una gran diversidad biológica con alta productividad, encontrándose muchas especies de aves como de peces, crustáceos, moluscos y otras.

**viii. Sabanas tropicales.** Las sabanas tropicales constan de vegetación de praderas con árboles o arboledas dispersas), y se encuentran en regiones cálidas con precipitación pluvial entre 1,200 y 1,800 mm, pero con una o dos temporadas largas de sequía. Las sabanas naturales constituyen uno de los biomas más característicos del cinturón intertropical del planeta. Es una de las grandes unidades estructurales y funcionales en las que se ha diferenciado la biota de la tierra, al mismo nivel que las selvas, los bosques montanos, los páramos o los desiertos (Rippstein et al., 2001). Las sabanas representan el 43% de la superficie terrestre, ocupando grandes regiones de Suramérica, África, Sureste Asiático y Australia. Las sabanas en Suramérica cubren una superficie de 269 millones de hectáreas, la mayor parte de ellas en el Cerrado de Brasil, y con áreas importantes en Colombia, Venezuela, Guyana y Bolivia.

**ix. Sabanas inundables.** Este tipo de sabanas se caracterizan por establecerse en un plano topográfico cóncavo con zonas muy bajas conocidas como bajos y esteros, los cuales en épocas de lluvias se inundan por acción directa de la precipitación y por la escorrentía dada por el desborde de los ríos y caños. Por otro lado, las áreas más altas, se conocen como bancos y banquetas que constituyen la base forrajera para la ganadería y fauna silvestre (Montilla-Pacheco, 2011).

---

8. Especies vegetales que presentan crecimiento subterráneo durante épocas de excesiva sequía, bajo la forma de bulbo, rizoma o tubérculo.



**Figura 5.** Biomias presentes en Latinoamérica y el Caribe  
(Fuente: [www.rulamahue.cl/mapoteca/catalogos/mundo.html](http://www.rulamahue.cl/mapoteca/catalogos/mundo.html))

### **2.3.2 Cambio Climático y Agua**

El agua, es uno de los recursos que podría verse afectado en gran medida por el cambio climático, siendo los principales impactos los siguientes (Bates et al. 2008):

i. Aumento en la frecuencia de extremos climáticos en términos de crecidas asociadas a inundaciones, sequías o deslizamiento de tierras. Entre los casos concretos recientes en relación con las fuertes precipitaciones se pueden mencionar los ocurridos en Venezuela (1999 y 2005), la Pampa Argentina (2009), Colombia (2009-2010), Bolivia (2005), Costa Norte de Perú (2017); o con sequías los ocurridos en Colombia (2001, 2015 - 2016). Lo anterior se ha venido incrementado en los últimos años en diferentes áreas de la región reflejándose no solo en pérdidas humanas, sino también en pérdidas económicas, las cuales se estiman en casi 20,000 millones de dólares sólo entre el 2001 y 2005.

ii. En países como México, el nordeste de Brasil, y la costa occidental de América del Sur, las cuencas están sobrecargadas por la demanda para uso doméstico, industrial y agrícola, ya que los volúmenes registrados por habitante/año son altos con respecto a la capacidad de las cuencas, sometiénolas a un estrés hídrico cuando la “disponibilidad de agua por habitante es inferior a 1.000 m<sup>3</sup>/año. Es posible que una disminución o una mayor variabilidad de la precipitación como consecuencia del cambio climático genere problemas serios de escasez del recurso hídrico.

iii. En el sureste de América del Sur se ha presentado una elevación del nivel del mar de 2-3 mm/año durante los últimos 20 años.

iv. En los países andinos, en los últimos 40 años, ha disminuido la superficie de los glaciares montañosos hasta en un 50% impactando la disponibilidad de agua en las cuencas dependientes de los glaciares.

En términos generales, los impactos sobre el agua se verán reflejados en excesos o déficits, relacionados con inundaciones o sequías que a su vez afectan todos los sectores, ya que es una reacción en cadena, reflejada en eventos como deslizamientos, reducción en la producción agrícola, restricción y control al acceso del agua como recurso fundamental para uso doméstico y otros usos de importancia económica, social y ambiental.

### **2.3.3 Cambio Climático y Biodiversidad**

América Latina y el Caribe es una región rica en biodiversidad, puesto que incluye seis de los 17 países megadiversos del planeta, y en su conjunto es una de las regiones con mayor concentración de biodiversidad del planeta, por lo que cualquier efecto del cambio climático sobre la biodiversidad tendrá impactos significativos pues ésta es la base de los servicios ecosistémicos que favorecen los sistemas sociales (Uribe Botero 2015). De hecho, se ha encontrado que la diversidad de recursos genéticos está siendo amenazada por el cambio climático, pues las variedades endémicas tienen una capacidad menor para desplazarse y sobrevivir a medida que se modifican las condiciones agroecológicas (Vergara et al, 2014).

Los impactos del cambio climático sobre la biodiversidad se presentan desde individuos, poblaciones y ecosistemas. Dado que tanto el desarrollo, la distribución y el establecimiento de los diferentes niveles de biodiversidad se relacionan con las condiciones climáticas y otras variables biofísicas, los eventos extremos acentuados por el cambio climático influirán de distintas maneras en los niveles de la biodiversidad, afectando la composición, la estructura y la función para cada uno de ellos.

De acuerdo con Uribe (2015) y el IPCC (2013), los siguientes son los impactos potenciales más relevantes del cambio climático sobre la biodiversidad en América Latina y el Caribe:

i. Reducción de las áreas de ecosistemas tales como los bosques nublados tropicales, arrecifes coralinos, manglares y humedales.

ii. Alteración en la dinámica poblacional de peces, moluscos y mamíferos acuáticos, como consecuencia de la elevación del nivel del mar.

iii. Extinción o disminución de poblaciones de algunos anfibios (i.e., salamandra, sapo occidental, rana arlequín, rana toro, rana dorada) a causa de la proliferación del hongo quitrido.

iv. Cerca de un 20% de los parientes silvestres de tres cultivos alimenticios de importancia, i.e., maní, frijol y papa, podrían correr el riesgo de extinguirse para el 2050 si se cumplen los escenarios de cambio climático previstos.

v. Cambios en la distribución geográfica de algunas especies como consecuencia de cambios en la distribución de las lluvias. Por ejemplo, la riqueza de especies como los colibríes crece con el aumento en la precipitación.

vi. La pérdida y disminución de los glaciares está resultando en cambios en la dinámica de poblaciones que habitan ecosistemas de alta montaña (páramos, lagunas y boques alto- andinos) debido a los cambios hidrológicos causados por dicha pérdida.

En compendio, se espera que el impacto del cambio climático sobre la biodiversidad se refleje en efectos negativos, debido a que las rápidas variaciones climáticas que se están presentando en las últimas décadas, no dan tiempo a las especies ni a los ecosistemas para que se adapten. A esto se suma el hecho que entre los principales impulsores del cambio climático están el incremento demográfico y la demanda de recursos por las actividades antrópicas.

### **2.3.4 Cambio Climático y Producción Agrícola y Pecuaria**

Los efectos esperados del cambio climático sobre las actividades agropecuarias generan gran preocupación en el sector ya que estos no serán neutrales, sino más bien negativos en la mayoría de los casos. Varios autores (Rodríguez-Vargas, 2007; Bates et al, 2008; Altieri y Nichols, 2009; Ortiz, 2012, IPCC, 2014, Vergara et al, 2014; Pezo, 2016; FAO, 2017) han reportado algunos de los cambios esperados en la productividad de los cultivos y animales como resultado del cambio climático, entre ellos:

i. Ligero incremento en la productividad para cultivos en latitudes medias y altas (zonas templadas), con incrementos de temperatura entre 1 y 3°C. Mientras que, para regiones con temperaturas mayores, se proyecta una reducción en la productividad de los cultivos.

ii. Reducción en la productividad de los cultivos en aquellas regiones con sequías estacionales dentro de los países con latitudes menores (más cercanos al Ecuador).

iii. Afectación de sistemas agrícolas por los cambios, desplazamientos o la extinción local de poblaciones de especies polinizadoras y de controladores biológicos de plagas y enfermedades.

iv. Disminución del rendimiento de trigo y papa; y aumento del rendimiento de maíz, soya y pastos, como consecuencia de los incrementos de temperatura previstos.

v. En la Pampa Argentina, el aumento de la precipitación ha contribuido a mejorar el rendimiento de la soya (38%), maíz (18%), trigo (13%) y girasol (12%).

vi. En las zonas templadas de América Latina, el crecimiento, floración y maduración de frutos se acelera debido a las temperaturas más cálidas, pero además se altera la germinación de las semillas, como consecuencia del adelanto de la primavera<sup>9</sup>.

vii. Cambios en la distribución geográfica de plagas, en el crecimiento de sus poblaciones y en la duración de sus estaciones de desarrollo, como consecuencia del aumento en temperatura. Así mismo éste puede inducir mayores invasiones de plagas migratorias.

viii. El cambio climático está trayendo la intensificación de algunas enfermedades importantes y su difusión hacia mayores áreas. Por ejemplo, en las zonas intermedias de América Central se están presentando mayores problemas de roya en el café y en el Cono Sur se están haciendo más recurrentes las epidemias de roya en trigo. También en las zonas altas la intensidad de las bajas temperaturas resulta en mayores problemas de heladas en los cultivos, y la mortalidad de animales jóvenes por neumonías.

ix. Se requiere mayor investigación sobre los impactos del cambio climático sobre las poblaciones de plagas e insectos benéficos, y sus posibles estrategias de manejo.

x. El incremento en temperatura ambiental, en muchos casos asociado a una disminución en la disponibilidad de agua, resulta en exacerbación del estrés calórico en los animales en los trópicos y durante el verano en las zonas templadas, lo que redundará en una disminución de la producción y calidad de leche, la ganancia de peso, la eficiencia reproductiva, mayores problemas de salud por baja en las defensas y, en casos extremos, una mayor mortalidad animal<sup>10</sup>.

xi. El aumento en temperatura favorece la presencia de vectores de enfermedades (i.e., mosquitos, garrapatas) en áreas anteriormente libres o con menor presencia de ellos, incrementando el riesgo de incidencia de babesiosis, anaplasmosis y teileriasis.

xii. El cambio climático está creando condiciones favorables para la incidencia de algunas enfermedades emergentes, tanto en plantas<sup>11</sup> como en animales, y muchas de estas últimas son además zoonosis<sup>12</sup>.

xiii. Las lluvias intensas pueden resultar en mayor erosión y lixiviación de suelos con cobertura pobre y en terrenos de pendiente, agudizando los problemas de degradación.

xiv. Las lluvias intensas en pasturas que presentan problemas de drenaje provocarán encharcamientos, los que incrementan el riesgo de parasitosis gastrointestinales y pulmonares en el ganado.

### ***2.3.5 Cambios esperados en la distribución de los cultivos más comunes en LAC como respuesta al Cambio Climático***

Para analizar los posibles cambios en el área dedicada y la distribución de los cultivos más comunes en las diferentes regiones de LAC como respuesta a los escenarios esperados de cambio climático, el equipo identificó un total de 22 cultivos relevantes por su importancia para la agricultura familiar y comercial en las diferentes regiones de América Latina y el Caribe. La lista de los cultivos se presenta en el Cuadro 8. Para cada uno de ellos se aplicó la metodología descrita en el Anexo 1, corriéndose el modelo ECOCROP, considerando la situación actual, y los cambios que podrían ocurrir en función de los escenarios de cambio climático conservador (RCP 4.5) y extremo (RCP 8.5) que se presentan en el Cuadro 7 y discuten en la sección 2,2 del presente informe.

9. Desde la década de los 60s se ha anticipado el inicio de la primavera a una tasa de entre 2.3 y 5.1 días por década (Vergara et al, 2014).

10. Gaughan y Cawsell-Smith (2015)

11. Anderson et al (2004)

12. Pinto et al (2008)



**Cuadro 8. Especies de cultivos de importancia en LAC seleccionados para el análisis de los efectos del cambio climático sobre su cobertura y distribución territorial.**

Granos	Frutales, hortalizas y tubérculos	Industriales	Forrajeros
<b>Granos</b>	<b>Frutales</b>		<b>Gramíneas</b>
<i>Phaseolus vulgaris</i>	<i>Ananas comosus (L) Merr</i>	<i>Coffea arabica., L.</i>	<i>Brachiaria brizantha</i>
<i>Glycine max (L.)</i>	<i>Musa acuminata.</i>	<i>Coffea canephora</i>	<i>Lolium perenne L.</i>
<b><i>Oryza sativa L. s. Indica</i></b>	<b>Hortalizas</b>	<i>Saccharum officinarum</i>	<b>Leguminosas</b>
<i>Oryza sativa L. s. japonica</i>	<i>Lycopersicon esculentum</i>	<i>Theobroma cacao</i>	<i>Arachis pintoi</i>
<b><i>Sorghum bicolor (L.) Moench</i></b>	<b>Tubérculos</b>		<i>Medicago sativa.L.</i>
<i>Triticum aestivum</i>	<i>Manihot esculenta</i>		<i>Trifolium repens L.</i>
<i>Zea mays</i>	<i>Solanum tuberosum</i>		
<i>Zea mays v. Indentata</i>			

### 2.3.5.1 Impacto del cambio climático en los cultivos agrícolas

El uso del modelo ECOCROP evidenció que los 17 cultivos agrícolas mostraron diferencias importantes en cuanto a las áreas que presentarían condiciones óptimas para su crecimiento como respuesta al cambio climático, cuando se comparaba la situación actual y lo esperado al 2050 bajo dos escenarios de cambio climático (conservador = RCP 4.5 y extremo = RCP 8.5). Los resultados del modelaje permitieron agrupar los cultivos en tres grupos: aquellos cultivos que permanecen más o menos estables aún con diferencias extremas en las condiciones de clima; otro grupo de cultivos que sufren fuertes cambios en las áreas aptas para el crecimiento como consecuencia del cambio climático; y un tercer grupo de cultivos que se beneficiará por las nuevas condiciones generadas por el cambio climático (Cuadro 9). Dichos grupos se discuten con un poco más de detalle en los párrafos siguientes:

**Cultivos relativamente estables.** En este grupo se encuentran los cultivos que mantienen sin cambios marcados el área potencialmente apta para su crecimiento bajo los dos escenarios de cambio climático. Este grupo incluye a la mayoría de los cultivos estudiados, p.e., arroz, banano, cacao, los dos tipos de café (arábica y robusta), caña de azúcar, maíz y soya. Para todos estos cultivos, bajo los dos escenarios de cambio climático, el porcentaje de áreas potencialmente aptas presentan variaciones relativamente pequeñas de pérdida o ganancia. Es importante anotar las diferencias marcadas en las áreas actuales aptas para las dos variedades de arroz (Indica y Japónica), pero ellas no muestran variaciones importantes en el porcentaje de áreas aptas como consecuencia del cambio climático. En cambio, para el maíz no hay diferencias en el área que es actualmente apta, pero la variedad Indentata muestra mayor ganancia con el cambio climático.

Dentro de este grupo de cultivos relativamente estables, las mayores variaciones se proyectan para el café tipo Arábica y la yuca, ambos bajo el escenario de cambio climático extremo (RCP 8.5). En el caso del café tipo Arábica se proyecta una pérdida de un 5% del área actualmente apta versus una ganancia de solo el 3%, y esto último ocurrirá especialmente en las zonas de altura. El balance final indica que en total habrá una reducción en las áreas con aptitud buena o excelente para el café tipo Arábica, y muy poco para el de tipo Robusta. Considerando las limitantes para expandir la producción de café por conflictos con otros sistemas de uso de la tierra, los resultados generados por el modelo coinciden con las predicciones de cuál será la tendencia de cambios para este cultivo (Ovalle-Rivera et al., 2015).

Las diferencias entre las variedades/tipos de arroz, maíz y café revelan la importancia de prestar atención a la variabilidad intra-especie como parte de las estrategias para enfrentar el cambio climático. Es claro que hay fuerte evidencia experimental que la apoya, y la opción se discute con más detalle en la Ficha Técnica titulada “Cambio de especie y variedad”, y en alguna medida en la Ficha Técnica “Agrobiodiversidad y bancos de semillas” que se presentan en el Anexo 3 del presente informe.

La yuca también constituye un caso particular, pues si bien las áreas aptas varían muy poco con el escenario de cambio climático moderado (RCP 4.5); en contraste, bajo las condiciones extremas (RCP 8.5) se presentan variaciones importantes de ganancia y pérdida de áreas aptas, pero las diferencias en el balance final de cambio son mínimas (0 y 1%, para RCP 4.5

y 8.5, respectivamente). Sin embargo, lo que se evidencia en el caso de la yuca, al igual que en el del café, es que se va a dar un desplazamiento de las áreas de producción.

#### **Cultivos más vulnerables con grandes cambios de área y/o desplazamiento.**

Los cuatro cultivos más afectados<sup>13</sup> por el cambio climático son el frijol, papa, tomate y trigo. Para los primeros tres cultivos, con un rango de un 58% hasta un 69% del área actualmente apta, las reducciones en aptitud climática serían muy drásticas (Figura 6). Bajo RCP 4.5, las pérdidas relativas del área potencial actual serían de 38, 41 y 40% para frijol, papa y tomate, respectivamente; mientras que bajo el escenario RCP 8.5, estas pérdidas relativas aumentarían a un 52, 53 y 42 % para frijol, papa y tomate, respectivamente. En el caso del trigo, si bien las áreas actualmente aptas son más pequeñas que para frijol, papa y tomate, las pérdidas relativas en el área apta para su crecimiento serían similarmente alarmantes (37 y 47%, bajo los RCP de 4.5 y 8.5, respectivamente). En conclusión, estos cultivos son sumamente vulnerables al cambio climático, indicando la gran necesidad de priorizar prácticas de adaptación para cada uno de ellos. Obviamente, las prácticas de adaptación (ver las fichas técnicas) juegan un rol central para enfrentar estos problemas. Estas deben incluir estrategias como el uso de la agrobiodiversidad y variabilidad genética para el control de plagas y enfermedades, el uso/cambio de variedades adaptadas, el manejo integral de la fertilidad de los suelos, la conservación de suelos y otros; pero también el empleo de prácticas para cultivos específicos como, por ejemplo, la labranza mínima para el cultivo de frijoles, papas y trigo o la producción en ambientes protegidos para tomate.

**Cuadro 9.** Cambios en la aptitud potencial de tierras en América Latina y Caribe entre el 2017 y el 2050, para el crecimiento de 17 cultivos agrícolas y cinco bajo dos escenarios de cambio climático (RCP 4,5 y 8,5), según el modelo ECOCROP (Las celdas coloreadas en gris corresponden a las especies con mayores pérdidas, y las celdas en verde corresponden a especies que se benefician por el cambio climático).

---

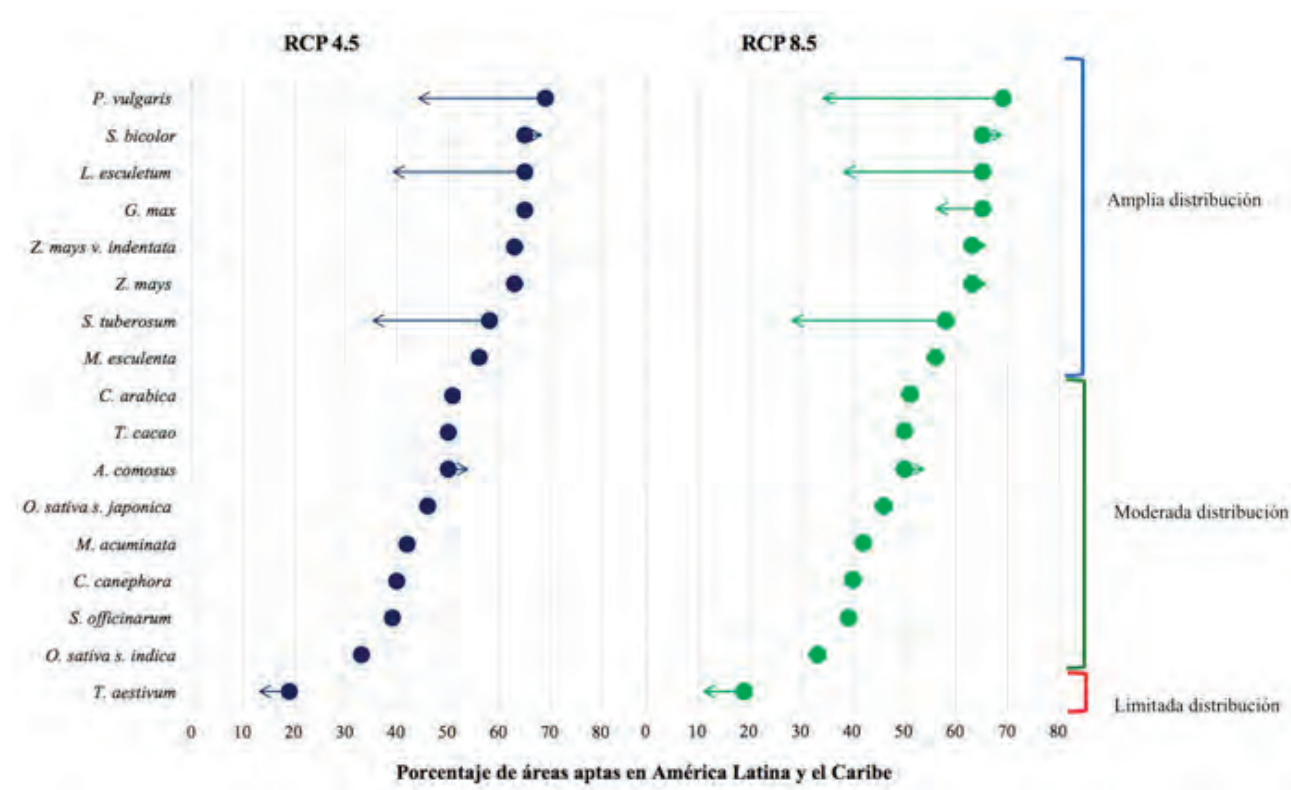
13. Destacados por el sombreado en color naranja en el Cuadro 9.

AREAS APTAS EN AMERICA LATINA Y EL CARIBE BAJO DOS ESCENARIOS DE CC  
(% de la superficie total)

Especie	Área apta actual (2017)	RCP 4.5			RCP 8.5		
		Mantiene*	Gana*	Pierde*	Mantiene	Gana	Pierde
<b>Cultivo</b>							
Arroz ( <i>Oryza sativa</i> L. s. <i>Indica</i> )	33	31	1	2	30	1	2
Arroz ( <i>Oryza sativa</i> L. s. <i>Japónica</i> )	46	44	1	2	43	1	3
Maíz ( <i>Zea mays</i> )	63	61	4	2	61	5	2
Maíz ( <i>Zea mays</i> var <i>indentata</i> )	63	61	1	1	61	3	2
Sorgo ( <i>Sorghum bicolor</i> )	65	64	4	1	64	5	1
Soya ( <i>Glycine max</i> )	65	64	2	1	64	2	1
Frijol ( <i>Phaseolus vulgaris</i> )	69	43	1	26	33	1	36
Yuca ( <i>Manihot esculenta</i> )	56	55	2	1	50	7	6
Papa ( <i>Solanum tuberosum</i> )	58	34	1	24	27	1	31
Piña ( <i>Ananas comosus</i> )	50	49	5	1	49	5	1
Banano ( <i>Musa acuminata</i> )	42	40	1	2	40	1	2
Cacao ( <i>Theobroma cacao</i> )	50	49	1	1	49	1	1
Café Arábica ( <i>Coffea arabica</i> )	51	49	2	2	46	3	5
Café Robusta ( <i>Coffea canephora</i> )	40	40	1	1	38	1	2
Caña de azúcar ( <i>Saccharum officinarum</i> )	39	37	2	2	36	2	3
Tomate ( <i>Lycopersicon esculentum</i> )	65	39	0	26	38	0	27
Trigo ( <i>Triticum aestivum</i> )	19	12	1	7	10	1	9
<b>Gramíneas forrajeras</b>							
<i>Brachiaria brizantha</i>	60	58	1	2	58	2	2
<i>Lolium perenne</i>	66	50	1	16	39	2	27
<b>Leguminosas forrajeras</b>							
<i>Arachis pintoi</i>	27	20	3	7	12	1	15
<i>Medicago sativa</i>	70	69	2	1	68	1	2
<i>Trifolium repens</i>	15	11	1	4	11	1	4

\*Los valores de cambio corresponden al por ciento del área total de América Latina y el Caribe; las pérdidas se refieren a por ciento de las áreas que dejarían de ser aptas para los escenarios de cambio climático, mientras que las ganancias se refieren a las nuevas áreas que presentarán condiciones climáticas buenas o excelentes para el cultivo como consecuencia del cambio climático.

**Cultivos que ganan áreas.** Este grupo incluye aquellos cultivos que de acuerdo con el modelo ECOCROP pueden incrementar el área de siembra<sup>14</sup>. Entre ellos se encuentran la piña y el sorgo. Ambos cultivos son conocidos por su tolerancia a altas temperaturas y al estrés hídrico, razón por la cual se verían favorecidos por los cambios esperados en las condiciones climáticas. El caso del sorgo es descrito en la Ficha Técnica “Conservación y uso de especies forrajeras adaptadas” que se incluye en el Anexo 3. Otro cultivo que podría beneficiarse, aunque en menor escala, es el maíz var. *Indentata*,



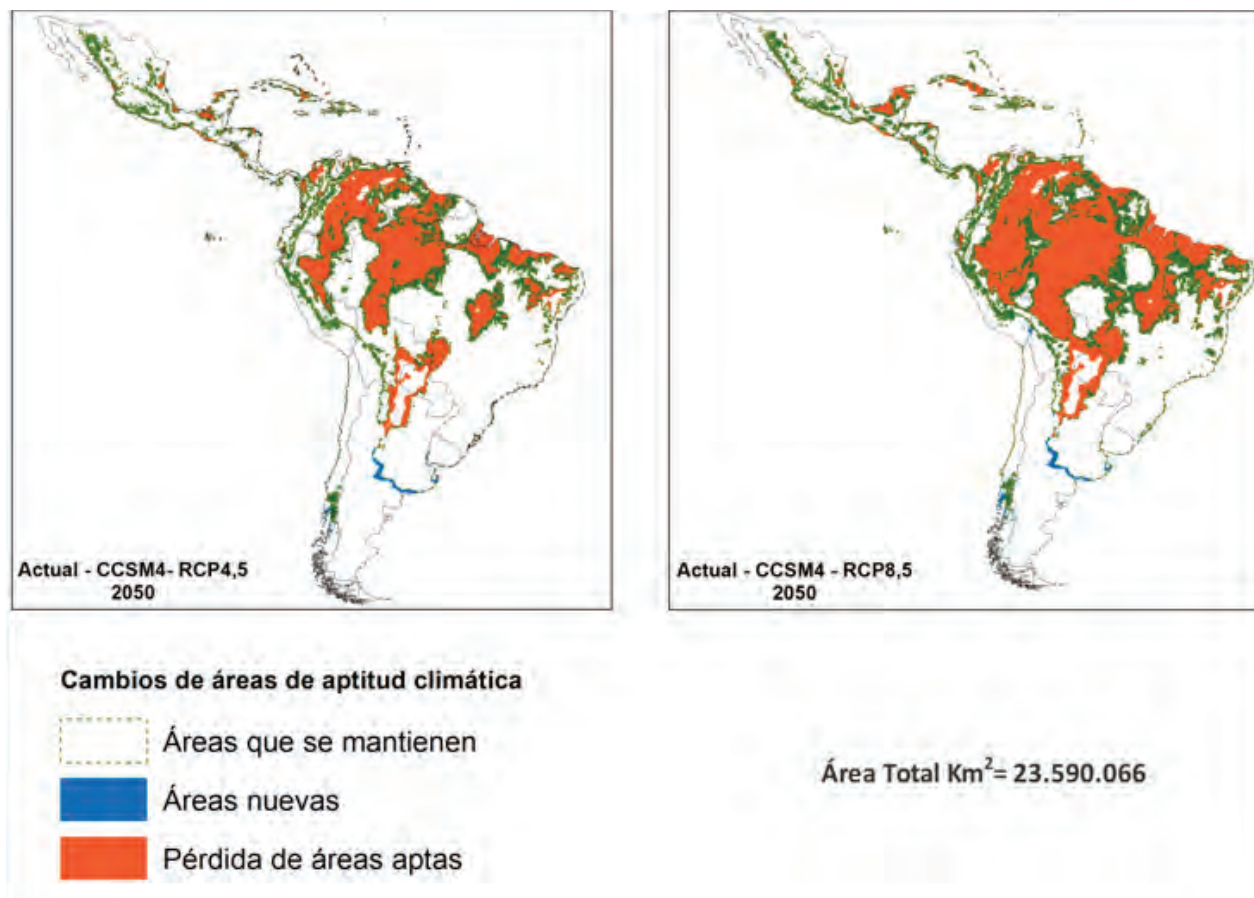
**Figura 6.** Cambios relativos en las áreas potencialmente aptas para el crecimiento de cultivos agrícolas, en función de cambios moderados (RCP 4.5) y extremos (RCP 8.5) en el clima entre el presente y el año 2050.

Hasta el momento se han presentado datos cuantitativos sobre los cambios esperados en las áreas aptas para la siembra de las especies de cultivos agrícolas seleccionados para este estudio; sin embargo, hay también una dimensión espacial pues se esperan cambios en la distribución de los cultivos como consecuencia del cambio climático. Estos cambios espaciales se pueden identificar comparando las áreas donde actualmente pueden crecer los cultivos, las áreas que dejarían de ser aptas y aquellas que presentarían condiciones para sostener los

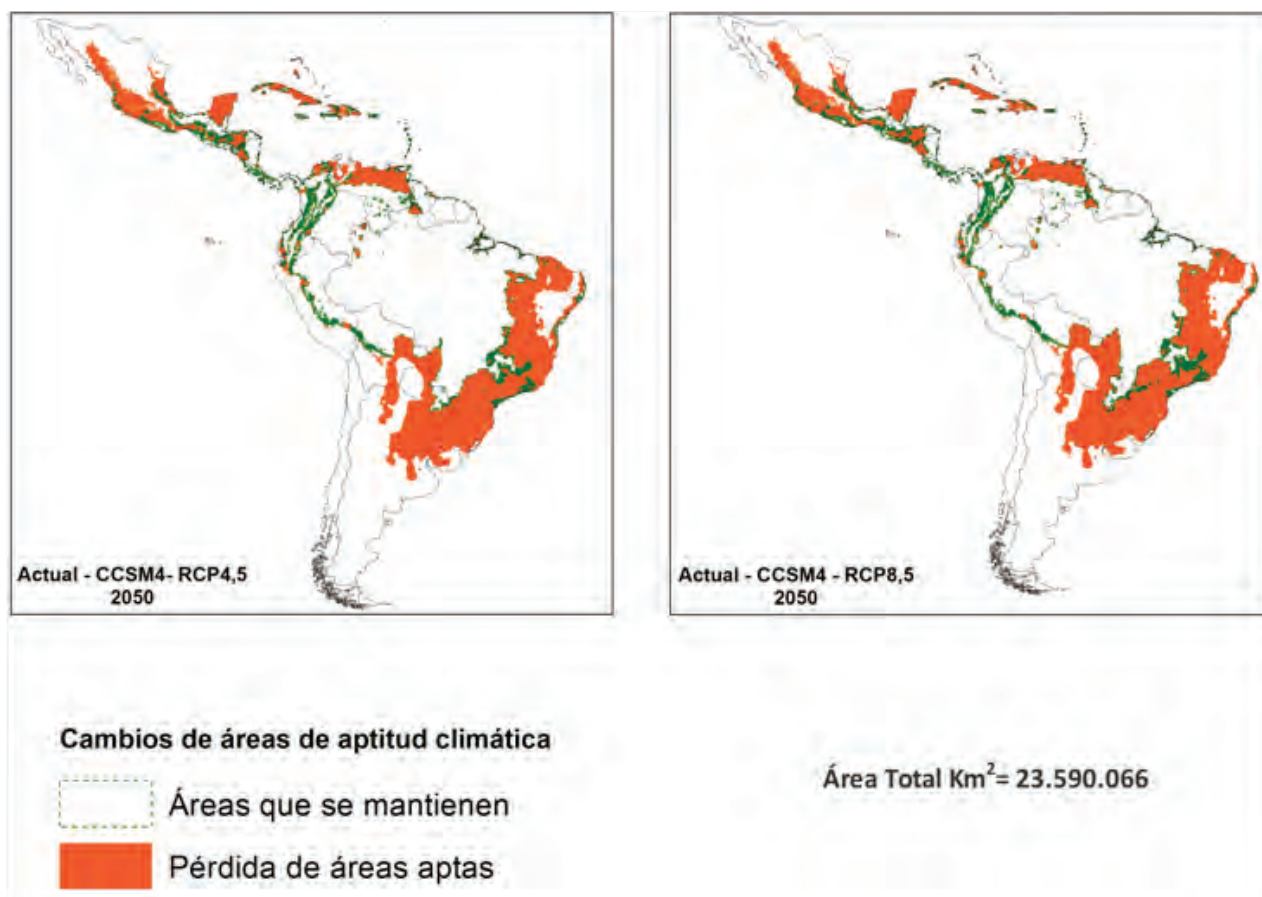
cultivos bajo los escenarios de cambio climático moderado y extremo. En el Anexo 2 se presentan los mapas resultantes de esos análisis para los 22 cultivos analizados, pero en esta sección del informe sólo se presentan dos casos, el del frijol común (*Phaseolus vulgaris*) y el del tomate (*Lycopersicon sculentum*). Estas especies se seleccionaron porque están entre aquellas que tienen amplia cobertura potencial, pero que van a tener grandes pérdidas como consecuencia del cambio climático.

14. Destacados por el sombreado en color verde en el Cuadro 9.

En el caso del frijol (Figura 7), hay pérdidas importantes de áreas aptas en las zonas donde tradicionalmente se produce el cultivo, como es el caso de Mesoamérica y el Caribe, así como la región Norte y Central de Suramérica. En el caso del tomate (Figura 8), las áreas perdidas se presentan no sólo en las mismas regiones mencionadas para el frijol -aunque hay zonas importantes donde ambos cultivos no coinciden, como en el caso de las áreas más calientes de las regiones norte y central de Suramérica-, sino también en la porción norte del Cono Sur. En ambos casos es muy evidente que las pérdidas son mayores para el escenario de cambio climático extremo (RCP 8.5) y este tipo de tendencia se presenta para todos los cultivos analizados (Anexo 2).



**Figura 7.** Cambios en la distribución potencial de las áreas aptas para frijol (*Phaseolus vulgaris*) en América Latina y el Caribe, entre el presente y el año 2050, en función de dos escenarios de cambio climático (RCP 4.5 y 8.5)



**Figura 8.** Cambios en la distribución potencial de las áreas aptas para tomate (*Lycopersicon esculentum*) en América Latina y el Caribe, entre el presente y el año 2050, en función de dos escenarios de cambio climático (RCP 4.5 y 8.5).

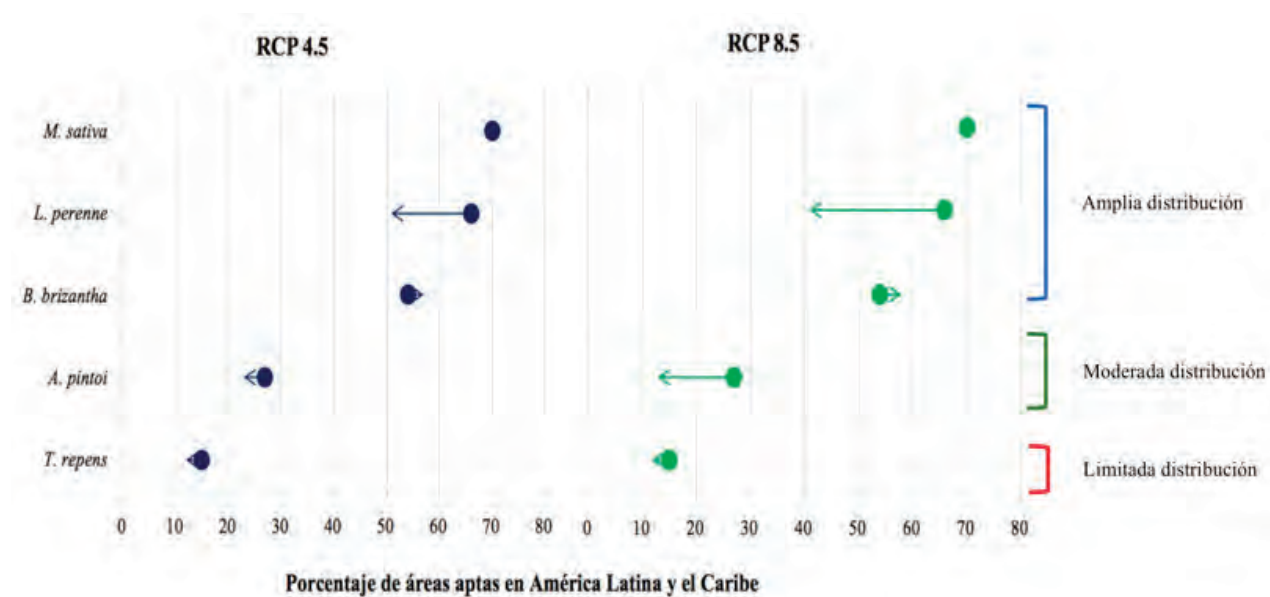
### 2.3.5.2 Impacto del cambio climático en especies forrajeras

En el caso de las especies forrajeras se analizaron sólo cinco especies (dos gramíneas y tres leguminosas), las mismas que se consideró eran representativas de una diversidad de especies forrajeras cultivadas. Desgraciadamente, no se pudo hacer este análisis para la gran diversidad de especies nativas, en especial de las regiones Altoandinas de Suramérica, porque las mismas no se encontraban en la lista de opciones de especies del modelo ECOCROP. La *Brachiaria brizantha* fue seleccionada como representativa de las gramíneas tropicales (C4), el *Lolium perenne* -conocido comúnmente como ryegrass

o ballica- como gramínea de zona templada o clima frío (C3), el trébol blanco (*Trifolium repens*) como leguminosa de zona templada, el mani forrajero (*Arachis pintoi*) como leguminosa tropical, y la alfalfa (*Medicago sativa*) como una leguminosa forrajera de gran relevancia por su calidad y facilidad para la producción de heno, especialmente en las zonas templadas. Los análisis realizados indicaron que tres especies (*Brachiaria brizantha*, *Medicago sativa* y *Trifolium repens*) sufrirán cambios muy pequeños en el área total potencialmente apta para su crecimiento: (Cuadro 9). Si bien el balance de los cambios en trébol blanco es de apenas + 1%, cuando se considera que esta especie puede crecer actualmente en el 15% del área total de

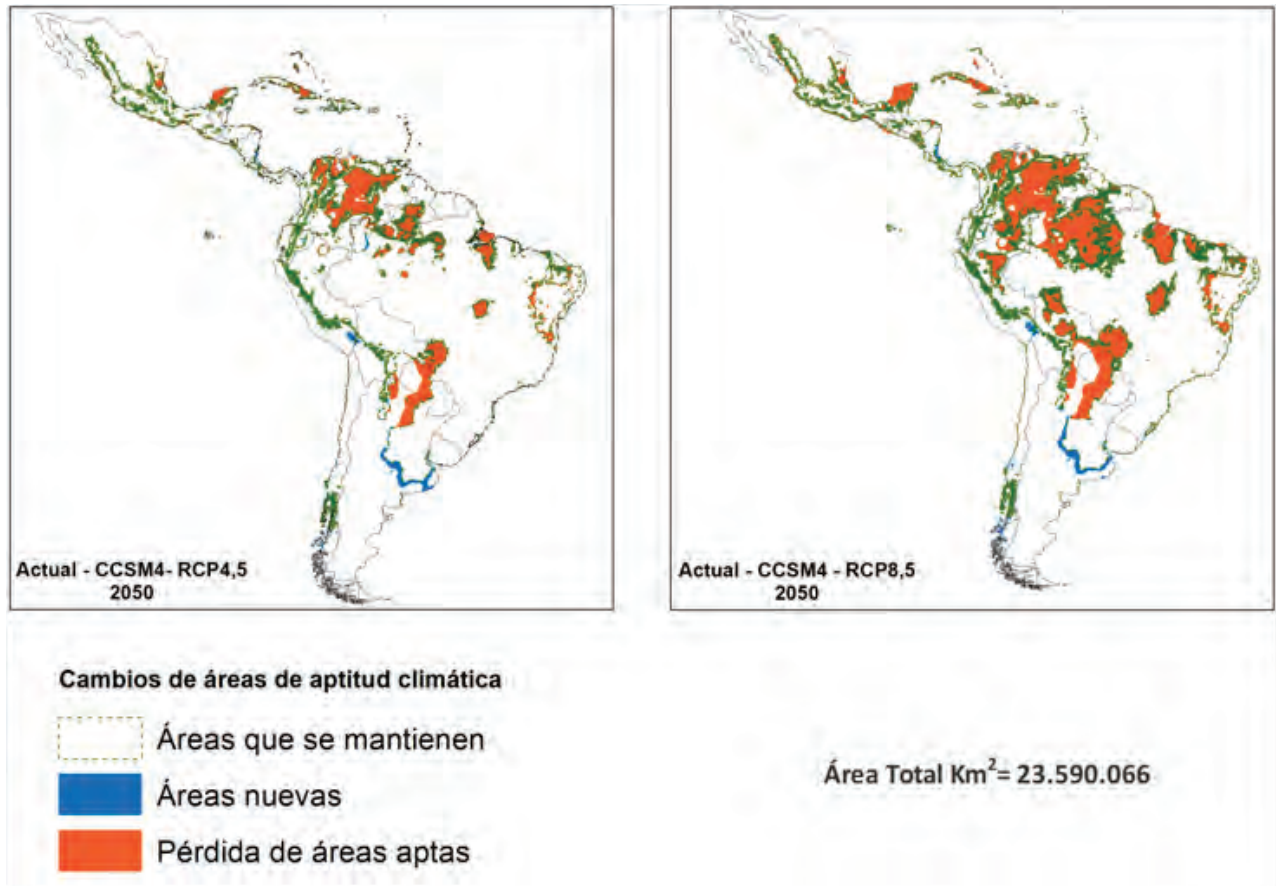
América Latina y el Caribe (mayormente en las zonas templadas de México y el Cono Sur, y las áreas altas de América Central y Sur), la pérdida del 4% en términos absolutos, corresponde al 27% del área potencialmente apta en la actualidad. Esto supone que se deben tomar medidas para identificar con qué especies se podría reemplazar esta forrajera de tanta importancia para la producción ganadera intensiva bajo pastoreo en las zonas donde actualmente crece.

Para el *Lolium perenne* y el *Arachis pintoii*, el modelaje indica cambios sustanciales (Figura 9), en el primer caso reducciones de un 16 y 27% del área total para los escenarios RCP 4.5 y 8.5, respectivamente (Cuadro 9); mientras que para el *Arachis pintoii* las reducciones son de 7% y 15% para los escenarios RCP 4.5 y 8.5, respectivamente.



**Figura 9.** Cambios relativos en las áreas potencialmente aptas para el crecimiento de forrajeras de zona templada y tropical, en función de cambios moderados (RCP 4.5) y extremos (RCP 8.5) en el clima entre el presente y el año 2050.

Al igual que para el caso de los cultivos, también se han analizado los cambios esperados en la distribución espacial para las especies forrajeras, y los mapas se encuentran en el Anexo 2, A manera de ejemplo aquí se presenta el caso del *Lolium perenne* (Figura 10), donde se puede observar que son muy limitadas las áreas nuevas, que las pérdidas son mayores en el escenario RCP 8.5, y que los mayores cambios se presentarán en las zonas de altura media de América Central y norte de Suramérica, mientras que en el Cono Sur, prácticamente no se esperan cambios en aquellas zonas que son aptas para el crecimiento de esta gramínea.



**Figura 10.** Cambios en la distribución potencial de las áreas aptas para ryegrass (*Lolium perenne*) en América Latina y el Caribe, entre el presente y el año 2050, en función de dos escenarios de cambio climático (RCP 4.5 y 8.5).

## 2.4 LIMITANTES DE LA MODELACIÓN

**i. El modelaje con ECOCROP sólo considera variables climáticas,** dejando de lado otras variables como son: la aptitud de suelos, la inclinación del terreno, la distribución real de los cultivos, la disponibilidad de agua para riego y otros factores locales, que son potencialmente relevantes para la producción agrícola. Por ende, los resultados del presente modelaje deben interpretarse solamente como indicativos de los cambios probables en la aptitud climática de las tierras para los diferentes cultivos. Para llegar a evaluaciones más detalladas sobre las tendencias probables

y recomendables de cada cultivo, se deberían realizar estudios comprensivos para cada cultivo que incluyan esas otras variables que son determinantes del uso real de la tierra en cada región específica.

**ii. El modelaje no contempla la incidencia de extremos climáticos.** Se basa en los parámetros climáticos de las exigencias de los cultivos, incluyendo los rangos y valores extremos de temperatura y lluvia. Por las limitantes del presente trabajo, las predicciones del modelo no incluyen el impacto potencial de la probabilidad de ocurrencia y dimensión de eventos extremos como vientos fuertes,



sequias extremas o inundaciones. Debe recordarse que la producción exitosa de un cultivo o forraje depende en gran medida no solamente de las condiciones promedio sino de estos eventos extremos.

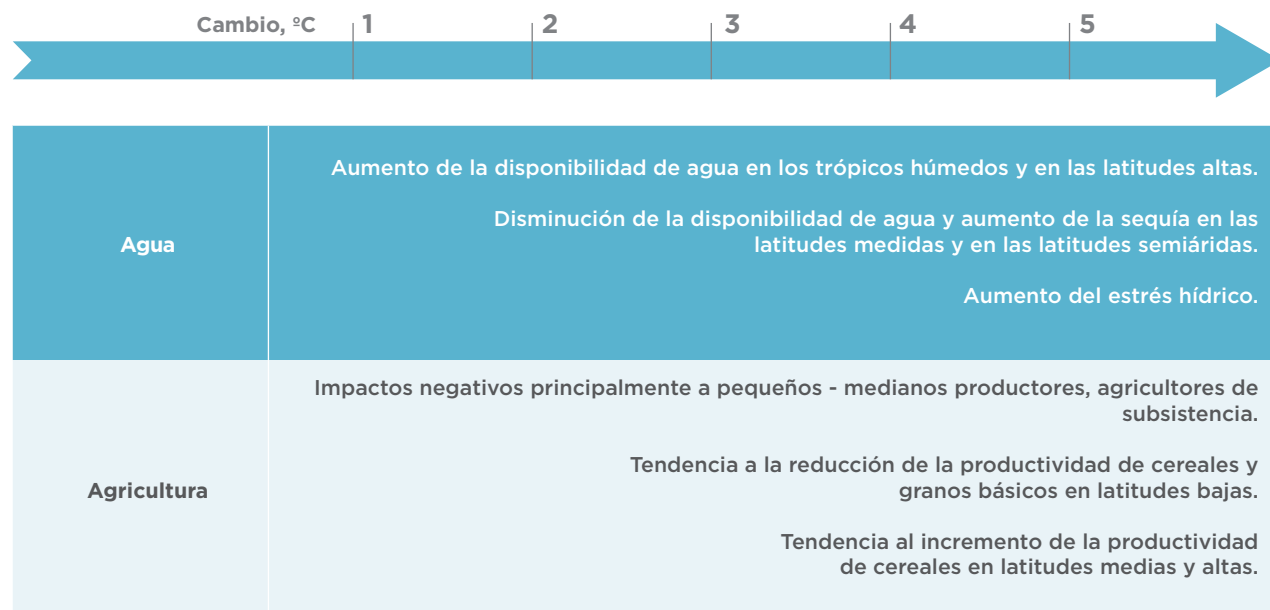
**iii. Restricciones para cambios en el uso de la tierra.** La posibilidad de establecer áreas nuevas para un cultivo determinado, considerando la aptitud climática modelada con ECOCROP, supone la ausencia de conflictos para el uso de la tierra con un propósito determinado. Por ejemplo, muchas de las zonas potencialmente aptas para la siembra de café tipo Arábica o yuca pueden estar en reservas biológicas o parques nacionales, o bajo uso forestal, ganadero o incluso urbano, lo cual va a impedir el establecimiento de un cultivo por conflictos actuales de uso o por regulaciones que impiden el cambio de uso.

**La variabilidad genética de cada especie es clave para la adaptación.** La variabilidad genética intra-específica juega un rol preponderante en la adaptabilidad de un cultivo a condiciones cambiantes. Para cultivos con una base genética amplia existe una mayor flexibilidad de mantener un cultivo en una cierta área, sólo cambiando el genotipo de uso común por variedades adaptadas a las nuevas condiciones climáticas. Un buen ejemplo es la gran variabilidad genética existente para maíz, tomate y papa en América Latina y el Caribe, al ser los tres cultivos nativos del Neotrópico con una gran diversidad genética disponible. En contraste, la base genética de bananos o café es mucho más reducida, lo cual limita las posibilidades de generar, seleccionar y adaptar nuevas variedades para un clima cambiante. El modelaje presente tuvo que trabajar con los datos disponibles en ECOCROP las cuales no necesariamente reflejan toda la variabilidad potencial que existe en las variedades potencialmente utilizables de cada cultivo. Trabajos futuros deberían recopilar y utilizar también esta información a un nivel mucho más detallado.

## 2.5 PRINCIPALES DESAFÍOS PARA LA ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO EN LOS SISTEMAS DE PRODUCCIÓN AGRÍCOLA Y PECUARIA

En los próximos años el principal reto de los sistemas agropecuarios en Latinoamérica y el Caribe (LAC), estará vinculado a proveer los alimentos que respondan al incremento en la demanda resultante del crecimiento de una población humana con mayor esperanza de vida y con cambios en sus hábitos de consumo. En contra posición, se sabe que no habrá una mayor expansión en el área de tierra cultivable y se enfrentará a una mayor volatilidad de los precios de alimentos. Adicionalmente, el cambio climático, traerá consigo incrementos en la temperatura, la intensidad de lluvias y el largo del periodo seco, entre otros. Bajo esas condiciones, es posible que los rendimientos de varios rubros se reduzcan y que los costos de producción aumenten como consecuencia de la necesidad por implementar estrategias que ayuden a reducir la vulnerabilidad de los sistemas de producción agropecuaria.

En la Figura 11 se presentan los impactos negativos sobre la producción agrícola que se espera provoque el incremento de la temperatura ambiente como producto del calentamiento global. Se aprecia que con un incremento de 3° C en la temperatura ambiente con respecto al periodo 1980-1990 habrá una mayor vulnerabilidad al estrés hídrico, y este se acentuará tanto por los aumentos en demanda de agua para otros usos diferentes a la agricultura como es el consumo doméstico e industrial, pero también por los cambios en los patrones de precipitación y temperatura asociados al cambio climático, los cuales no van a ser uniformes para diferentes regiones. Por ejemplo, en zonas secas y áridas la disponibilidad de agua está disminuyendo; en cambio, en otras se tiene problemas por inundaciones, o por fenómenos naturales que son cada vez más frecuentes como son los huracanes y las tormentas tropicales.



**Figura 11.** Impactos esperados por el incremento en la temperatura media ocasionada por el cambio climático

Entonces, uno de los mayores desafíos de la agricultura es cómo producir más a través de mejoras substanciales en la eficiencia de uso de los recursos para responder a la demanda, y al mismo tiempo detener y revertir la degradación (FAO, 2017). Pero este reto es aún mayor porque muchos de esos cambios suponen más presión sobre áreas donde ya se presenta fragilidad en los medios de vida y en los agroecosistemas que les dan sustento. No hay que olvidar que la actividad agropecuaria depende también de la biodiversidad y de las condiciones del sitio (fertilidad y tipo de suelo), pero justamente esos factores también están siendo amenazados por el cambio climático.

Para responder a estos desafíos se hace necesario el desarrollo y la aplicación de innovaciones que permitan proteger y mejorar la base de recursos naturales, y que al mismo tiempo ayuden a incrementar la productividad. Se hace necesaria la transformación de los procesos de desarrollo del sector agropecuario hacia la promoción e implementación de enfoques más holísticos, como la agroecología, la agroforestería y los sistemas de agricultura climáticamente inteligente. En capítulos posteriores se presentan algunas de las opciones tecnológicas e institucionales que ayudarán a la adaptación de los sistemas al cambio climático, y así reducir la vulnerabilidad de estos, en beneficio de las poblaciones en Latinoamérica y el Caribe.

### 3. INNOVACIONES Y TECNOLOGÍAS MÁS RELEVANTES PARA REDUCIR LA VULNERABILIDAD/INCREMENTAR LA CAPACIDAD DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO EN LOS SISTEMAS AGROPECUARIOS

La adaptación al cambio climático y la contribución del sector agropecuario a su mitigación exige el introducir cambios en la forma en que el sector se relaciona con el medio ambiente, ya sea como demandante de recursos naturales (e.g. agua, suelo, nutrientes) y servicios agro-ecosistémicos (e.g. polinización; reservorio de germoplasma in situ; refugio de organismos reguladores de plagas, malezas y patógenos), o como usuario de servicios de procesamiento de los desechos que se generan en el proceso productivo (CEPAL, 2013). Las transformaciones que se requieren para adaptar la agricultura al cambio climático pueden ir desde modificaciones simples en las fechas de siembra y cosecha, hasta cambios estructurales significativos como puede ser pasar a sistemas de producción en ambientes controlados.

Un aspecto importante para considerar cuando se promueven tecnologías de adaptación al cambio climático es que no sólo se aborde este desde una perspectiva ambiental, sino también como parte de un proceso que contribuye a asegurar los medios de vida de los habitantes de las comunidades rurales (Pettengel, 2010) y a mejorar la competitividad del sector y su posicionamiento frente a las nuevas demandas por parte de los consumidores. En esta línea es esencial trabajar con los agricultores y sus organizaciones, para rescatar prácticas ancestrales que podrían permitir la adaptación de la agricultura al cambio climático, pero también revisar con ellos las innovaciones con potencial para operar en diferentes escenarios de cambio climático considerando especificidades tales como especies de cultivos, animales y árboles, sistemas productivos,

conocimientos, capacidades para su aplicación (FAO y GIZ, 2012).

#### 3.1 PRINCIPIOS AGROECOLÓGICOS COMO BASE DE LA INTENSIFICACIÓN Y ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO

Durante más de cinco décadas, la llamada “Revolución Verde” ha generado muchos beneficios al aumentar la productividad de varios cultivos; sin embargo, los impactos ambientales negativos asociados (p.e. erosión masiva de suelos, contaminación de fuentes de agua, crisis de biodiversidad que se manifiesta en la pérdida de diversidad genética en los organismos y la reducción de polinizadores) también han demostrado que no son sostenibles los monocultivos en gran escala, aún con altos niveles de insumos, porque son altamente susceptibles a los cambios climáticos y al estrés abiótico y biótico (Kimbrell, 2002). Como consecuencia, hoy en día, hay un consenso creciente que el diseño y manejo de agroecosistemas productivos y realmente sostenibles en el largo plazo, tienen que estar basados en principios agroecológicos en vez de intervenciones químicas (FAO, 2017<sup>a</sup>; Muschler, 2016). Para poder producir a largo plazo, sin causar una degradación ambiental importante en un paisaje biodiverso, las unidades productivas deben integrarse armoniosamente con aquellos componentes que fomentan la conservación de los recursos naturales (FAO, 2013; Trumper et al, 2009). Por ello, es fundamental la distribución adecuada y la integración funcional de las unidades de producción de cultivos con las agroforestales, ganaderas y forestales, pues ello ayudará a maximizar la generación de beneficios agroecológicos, tanto en términos de productos como de servicios ambientales (FAO, 2017b).

Los beneficios generados por la interacción de los componentes en un paisaje incluyen: i. la estimulación mutua entre componentes -tanto plantas como animales- cuando son compatibles y complementarios; ii. la prevención y el control de plagas y enfermedades como beneficio emergente de la diversidad de componentes y la biodiversidad asociada; iii. la protección y el enriquecimiento de los suelos con nutrientes y materia orgánica; iv. el mantenimiento del flujo y la calidad del agua; y v. el mantenimiento de la biodiversidad funcional en el ecosistema, la misma que contribuye a proveer servicios esenciales como la polinización, el control biológico de plagas y enfermedades, y la adaptación y mitigación del cambio climático (Nicholls-Estrada et al. 2013).

Para que los agroecosistemas sean productivos, ecológicamente sostenibles a largo plazo, y adaptados al cambio climático, éstos deben cumplir con las siguientes condiciones (Muschler, 2016):

- i. Incluir especies adaptadas a las condiciones locales, y que los sistemas de cultivo imiten en la medida de lo posible las comunidades de sucesión secundaria, para maximizar la eficiencia en el uso de los factores de crecimiento (radiación, agua y nutrientes).
- ii. Establecer cultivos múltiples en asocio o rotación, para reducir el riesgo de plagas y enfermedades especializadas; las cuales afectan mayormente los monocultivos (p.e., roya en café, Sigatoka y Mal de Panamá en bananos, Monilia en cacao, etc.).
- iii. Fomentar la diversidad de organismos y su actividad en el suelo y la superficie, con el fin de maximizar: la captura y reciclaje de nutrientes a través del asocio con simbioses como las micorrizas y las bacterias fijadoras de nitrógeno; la supresión de plagas y

enfermedades mediante el fomento de la presencia de microorganismos antagonistas; favorecimiento de la polinización; así como la resistencia y resiliencia a eventos climáticos extremos.

iv. Utilizar especies de plantas que poseen raíces a diferentes profundidades para minimizar la lixiviación de nutrientes y para extraer nutrientes de estratos profundos del suelo, y hacerlos aprovechables por plantas con raíces superficiales.

v. Proteger los suelos lo más posible con coberturas vivas o muertas;

vi. Minimizar la emisión de GEI y de sustancias tóxicas y persistentes, así como el uso de insumos externos, para contribuir a reducir la huella de carbono y externalidades negativas.

vii. Promover prácticas de manejo socialmente aceptables, para fomentar su adopción y uso.

Idealmente, los agroecosistemas deben ser suficientemente simples para facilitar su manejo, pero -al mismo tiempo- suficientemente diversos y con altos niveles de biomasa activa para poder mantener los servicios ecosistémicos mencionados antes. Sin ellos, ningún sistema puede funcionar en el largo plazo (Diamond 2011). En gran medida, estos servicios son el resultado de un sistema con una elevada biomasa aérea y subterránea. Por ende, para diseñar ecosistemas verdaderamente sostenibles, el reto es encontrar el mejor balance entre la alta productividad de ecosistemas en etapas tempranas de sucesión, muchas veces dominados por cultivos anuales (Ewel, 1999) y los servicios de protección ambiental derivados de etapas más avanzadas de sucesión con cultivos perennes (Mollison,

1996). Por ello, es esencial no solo identificar las especies más apropiadas y el mejor arreglo espacial y temporal, sino también la mejor dimensión y ubicación para cada tipo de uso de tierra en el contexto del paisaje agrícola o agroforestal, asegurando que todos los productores obtengan utilidades suficientes para mantener un nivel de vida adecuado.

### 3.2 METODOLOGÍA UTILIZADA PARA LA SELECCIÓN DE INNOVACIONES PROMISORIAS

Ha habido varios esfuerzos en la definición de innovaciones que pueden ayudar a reducir la vulnerabilidad al cambio climático en diversas partes del mundo, pero todos coinciden en que hay mayor posibilidad de éxito con aquellas tecnologías que permiten y promueven la diversidad, pues esa es la mejor forma en que los sistemas de producción agrícola y pecuaria hagan frente a la incertidumbre de los futuros escenarios de cambio climático (Clements et al, 2012; Dinesh et al., 2017; MAG, 2017). Varias de las opciones presentadas por dichos autores coinciden con las 23 innovaciones<sup>15</sup> que identificó y priorizó el equipo de consultoría que preparó el presente informe, como aquellas que deben ayudar a reducir la vulnerabilidad de los sistemas agropecuarios a los efectos del cambio climático. Ese conjunto de innovaciones fue puesto a la consideración de un total de 35 profesionales del sector agropecuario de diferentes países de América Latina y el Caribe que respondieron a la invitación enviada para participar en dos consultas virtuales (Webinar). Por los temas que cubren Las innovaciones propuestas, éstas se organizaron en seis grupos, a saber:

- i. Agua
- ii. Suelos
- iii. Microclima

- iv. Diversidad genética
- v. Alimentación del ganado
- vi. Manejo de residuos.

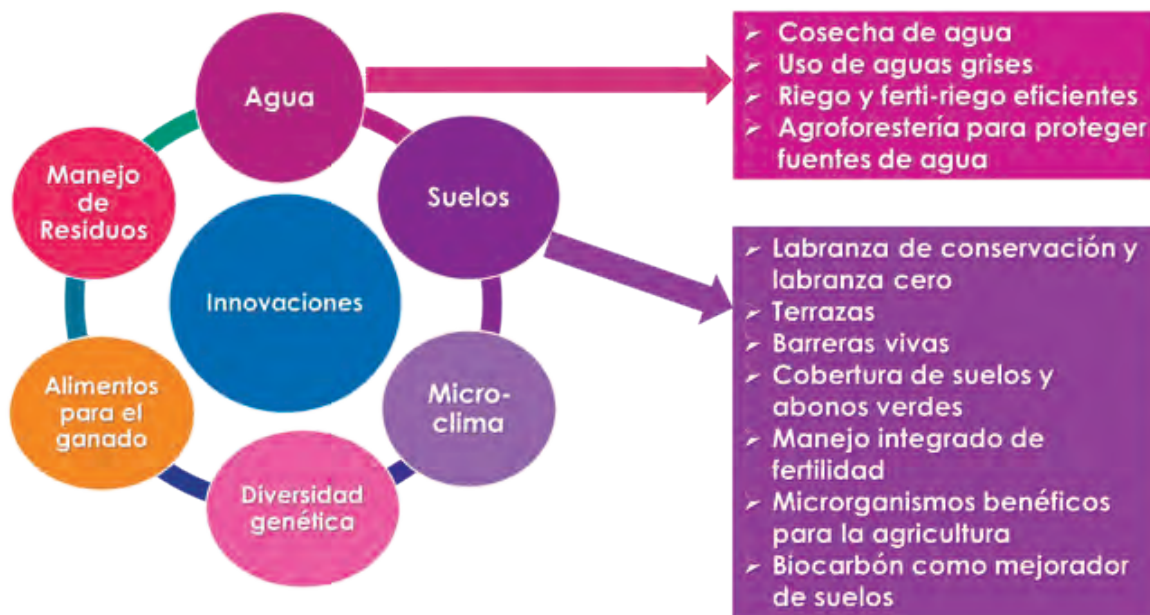
### 3.3 INNOVACIONES CON POTENCIAL PARA FAVORECER LA ADAPTACIÓN DE LOS AGROECOSISTEMAS AL CAMBIO CLIMÁTICO

El listado de las innovaciones consideradas bajo los diferentes temas se presenta en las Figuras 12, 13 y 14; y una descripción detallada de cada una de las innovaciones propuestas se presenta como fichas técnicas en el Anexo 3. Los aspectos considerados en la descripción de las innovaciones en cada ficha técnica fueron los siguientes:

- i. Tipo de beneficios que aporta la innovación
- ii. Zonas agroecológicas donde tiene mayor potencial de aplicación
- iii. Forma en que la innovación contribuye a reducir la vulnerabilidad al cambio climático
- iv. Descripción de en qué consiste la innovación
- v. Requerimientos para su implementación
- vi. Beneficios esperados sobre la producción agrícola o pecuaria
- vii. Cobeneficios
- viii. Ejemplos de casos de éxito
- ix. Bibliografía utilizada

---

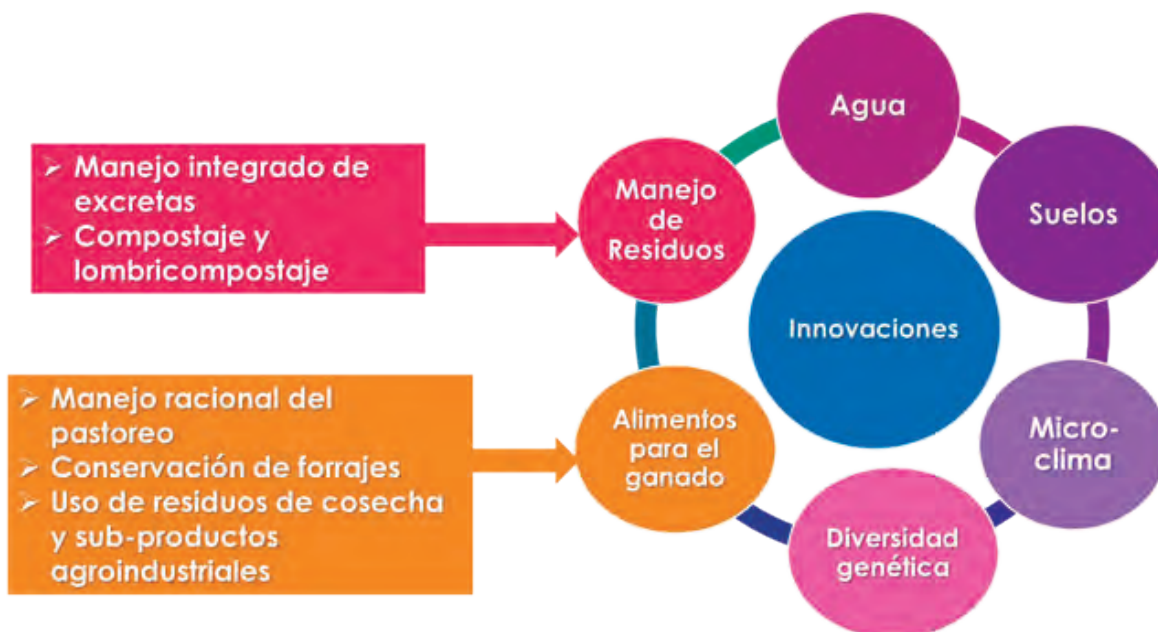
15. Las 23 innovaciones se incluyeron en 17 fichas técnicas que se presentan en el Anexo 4.



**Figura 12.** Impactos esperados por el incremento en la temperatura media ocasionado por el cambio climático. Innovaciones asociadas con los recursos agua y suelo propuestas para fomentar la adaptación al cambio climático en sistemas agrícolas y ganaderos en LAC.



**Figura 13.** Impactos esperados por el incremento en la temperatura media ocasionado por el cambio climático. Innovaciones asociadas con el microclima y la diversidad genética propuestas para fomentar la adaptación al cambio climático en sistemas agrícolas y ganaderos en LAC.



**Figura 14.** Impactos esperados por el incremento en la temperatura media ocasionado por el cambio climático. Innovaciones asociadas a la alimentación del ganado y el manejo de residuos propuestas para fomentar la adaptación al cambio climático en sistemas agrícolas y ganaderos en LAC.

Las innovaciones descritas en las fichas técnicas del Anexo 1 forman parte de un menú de opciones para la adaptación de los sistemas presentes al cambio climático, pero es necesario validarlas con diferentes experiencias locales, ajustándola a cada realidad. Por otro lado, el Cuadro 10 presenta ejemplos de cómo se puede tomar decisiones sobre qué innovaciones seleccionar con base en la forma como se manifiesta el cambio climático y los posibles impactos de este sobre los diferentes componentes del sistema de producción.

Sin embargo, cualquier decisión sobre qué innovaciones proponer para la adaptación debe tener al menos un análisis *ex ante*<sup>16</sup> de costos y beneficios, aun cuando sabemos que este balance suele dejar fuera otros elementos que son difíciles de cuantificar. En el análisis de los beneficios no sólo se debe considerar el aumento en la producción debido a la implementación de la innovación, el precio del producto y el consiguiente ingreso resultante, sino que se debe tomar en cuenta además los costos evitados o inducidos por la aplicación de la innovación. Por ejemplo, si la intervención está orientada a asegurar una mayor disponibilidad de agua para

un proceso productivo en un momento crítico, se sabe que este recurso influye directamente sobre la productividad del cultivo o del ganado, y por ende tendría impacto sobre los ingresos y bienestar de la población involucrada, pero además la dotación de agua en forma regular evitaría las pérdidas o daños resultantes de la falta de este recurso por factores climáticos (FAO y GIZ, 2012).

Por otro lado, los costos de la adaptación corresponden a los vinculados a la planificación, preparación, facilitación y aplicación de medidas de adaptación, incluidos los costos del proceso de transición. Sin embargo, hay que tener cuidado cuando se analizan los costos, pues la innovación propuesta puede tener efectos en el largo plazo, por lo que los costos no se pueden asignar completamente a un ciclo productivo digamos de un año agrícola, sino que esos costos se deben prorratear entre el número de años que puede durar la innovación. Esto es particularmente aplicable a aquellas innovaciones asociadas con obras de infraestructura, el establecimiento de especies perennes (p.e., árboles, pasturas, cultivos perennes), o el cambio de genotipo animal, entre otros.

16.El término "ex ante" se usa comúnmente para referirse a análisis que se hacen con base en datos colectados de la literatura y supuestos, mientras que "ex post" es cuando los análisis se hacen con base en datos reales.

**Cuadro 10. Algunos ejemplos de las medidas que contribuyen a la adaptación al cambio climático (Adaptado de: Pettengel, 2010)**

Cambio	Impacto	Ejemplos de medidas
<b>Incremento de la temperatura de la superficie terrestre y del agua</b>	Estrés térmico de los cultivos	Acceso a cultivos tolerantes al calor
	Aumento de la demanda de agua para el cultivo y / o menor disponibilidad de agua	Acceso a cultivos más tolerantes a la sequía y /o cultivos y variedades con ciclos de maduración más cortos Aumentar el contenido en materia orgánica del suelo Prácticas de manejo de cultivos dirigidas a conservar el agua Maximizar la captación y el almacenamiento de agua Incidencia política para asegurar el derecho de los pequeños agricultores al acceso a los recursos hídricos y al suministro de agua
	Estrés térmico del ganado	Plantar árboles (sombra y forraje) Cambiar a especies y razas más tolerantes al calor
	Disminución del caudal de los ríos y otras fuentes de agua	Maximizar la captación y el almacenamiento de agua
<b>Subida del nivel del mar</b>	Intrusión salina	Suministro de agua para el uso doméstico y productivo Usar cultivos o variedades tolerantes a la salinidad
<b>Alteración de las estaciones</b>	Falta certeza para definir calendario de cultivos	Predicciones meteorológicas y estacionales adecuadas, accesibles y fiables  Diversificación de cultivos y uso de cultivos intercalados (puede ser en sistemas agroforestales) Diversificación de los sistemas de finca
	Daño a los cultivos por sequía durante la fase de crecimiento	Captación, almacenamiento y uso de agua almacenada Acceso a cultivos de ciclo corto y los tolerantes a sequía Manejo del suelo y de los cultivos dirigido a conservar el agua
	Daño a los cultivos por aguaceros fuera de temporada	Variedades tolerantes a la inundación o encharcamiento Técnicas para mejorar el drenaje
	Acortamiento de la estación de crecimiento	Acceso a variedades de ciclo corto / resistentes a la sequía Conservación de forrajes  Uso de residuos de cultivos y subproductos para alimentar el ganado
<b>Aumento en la frecuencia de precipitaciones intensas o aumento de la precipitación anual</b>	Aumento en la frecuencia y gravedad de las inundaciones	Cero labranza o labranza de conservación Barreras vivas Cultivos de cobertura
<b>Disminución de la precipitación anual en zonas áridas y semiáridas</b>	Aumento en la frecuencia y gravedad de las sequías	Cosecha de agua Siembra de árboles alrededor de fuentes de agua Uso de aguas grises Enfoques integrados y comunitarios de gestión del agua



## 4. CONDICIONES HABILITADORAS PARA EL CAMBIO HACIA UNA PRODUCCIÓN AGROPECUARIA RESILIENTE AL CAMBIO CLIMÁTICO EN LATINOAMÉRICA Y EL CARIBE

### 4.1 REINGENIERÍA DE LOS SISTEMAS DE INVESTIGACIÓN Y EXTENSIÓN PARA ENFRENTAR LOS RETOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO

Todos los países de Latinoamérica y el Caribe cuentan con una institución enfocada en investigaciones agropecuarias, vinculada con los Ministerios de Agricultura, y en algunos de ellos la misma institución tiene la responsabilidad de extensión o asistencia técnica, mientras en otros esta última función está adscrita a los gobiernos regionales. La primera institución en Latinoamérica con el mandato de investigación y extensión agropecuaria fue el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) de Argentina, creado en los años 50, y luego de eso aparecieron institutos con mandato similar en el resto de los países en la región. Estos institutos se crearon con el apoyo de los Estados Unidos, con la premisa que en los países desarrollados existía suficiente tecnología disponible para impulsar la modernización agroalimentaria de los países de la región, y lo que hacía falta eran mecanismos efectivos para adaptarlas a las condiciones locales y difundirlas entre los agricultores (Trigo et al, 2013).

A partir de esta idea, la mayor parte de los países encararon la creación de institutos públicos de investigación, semi autónomos, algunos de los cuales recibieron también la responsabilidad de la extensión. Dichos institutos, que son públicos y están al servicio de los productores agrícolas, fueron creados usando los principales rubros agropecuarios (p.e., maíz, papa, ganadería) como criterio para la definición de sus programas de investigación, se estructuraron con un alto grado de centralización, gobernadas "de arriba hacia abajo", y con una concepción "ofertista"

y fragmentada del proceso tecnológico. Sin embargo, con el tiempo han evolucionado para incluir además programas que cubren la agricultura familiar. Igualmente, los servicios de extensión en Latinoamérica están ahora más enfocados en la agricultura familiar, en donde el productor tenga acceso a tecnologías y su entorno rural (Trigo et. al. 2013); mientras que los productores de escala comercial hacen mayor uso de los servicios de asistencia técnica privada (Ardila, 2010).

El reconocimiento del cambio climático como un hecho real está incidiendo en la revisión de los sistemas de innovación (investigación, extensión y asistencia técnica) en el sector agropecuario, pues estos deben considerar la incertidumbre, la imprevisibilidad y la falta de control que caracteriza a la producción agropecuaria en el contexto del cambio climático. Todo esto supone un cambio fundamental en los sistemas de innovación (Christoplos 2010) que incluya:

- i. El desarrollo de capacidades en los diferentes actores para hacer frente a la incertidumbre sobre el cambio tecnológico, climático y de los mercados, lo cual supone proveer información, organizar el diálogo, y asesorar respecto de las probabilidades de ocurrencia de fenómenos climáticos atípicos, para que los diferentes actores de las cadenas de valor identifiquen cuáles son las estrategias más apropiadas para hacerle frente;
- ii. El aprender a vivir con el cambio, la imprevisibilidad y el riesgo, aprovechando las nuevas oportunidades que ofrecen los marcos reguladores, los mercados y el clima; y
- iii. La creación o el reforzamiento de las

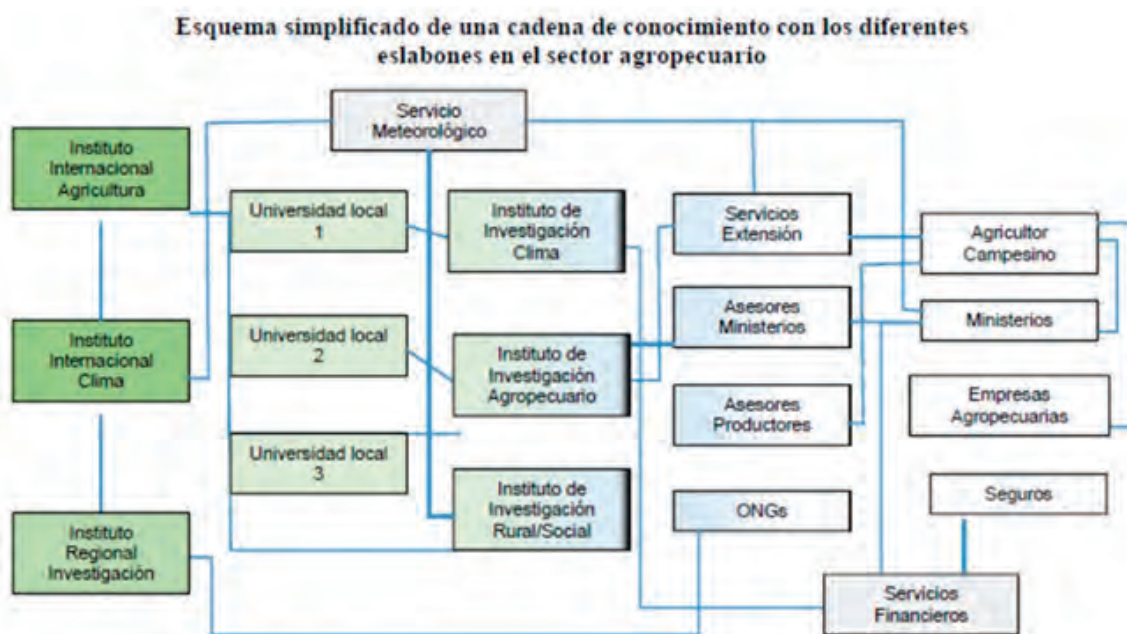
plataformas de innovación en las que los diferentes actores dialoguen abiertamente para analizar los problemas comunes, encontrar soluciones e identificar los vacíos de información. Esto ayudará no sólo a facilitar el diálogo con frecuencia débil entre investigadores y extensionistas -con muy pocas excepciones- (FAO/BID, 2016), y entre éstos con los decisores, los grupos de productores y otros actores de las cadenas productivas.

#### 4.1.1 La investigación agropecuaria y el Cambio Climático

La investigación agropecuaria en Latinoamérica y el Caribe no sólo se desarrolla en los institutos nacionales de investigación agropecuaria con frecuencia adscritos a los Ministerios de Agricultura, sino también en las universidades e instituciones relacionadas, e incluso la desarrollan grupos del sector privado. En cambio, las relaciones entre la actividad agropecuaria con los recursos naturales y el ambiente con frecuencia se estudian en los Ministerios de Ambiente o

en centros especializados. Por ello cuando se analiza la interfaz agricultura - cambio climático, se hace cada vez más necesaria la coordinación de esfuerzos de las diferentes instituciones con ese mandato, y la revisión de sus agendas para asegurar que las mismas estén diseñadas para responder a los retos que enfrenta actualmente la agricultura en el contexto del cambio climático. En la Figura 15 se presenta un esquema de cómo se deben interrelacionar diferentes instituciones de investigación y desarrollo para trabajar sobre la interfaz agricultura - cambio climático.

Es importante señalar que una revisión reciente sobre la producción científica en agricultura y cambio climático en América Latina y el Caribe (Rodríguez et al, 2015), comparada con el resto del mundo, detectó que en los últimos años la producción científica sobre la interfaz agricultura-cambio climático ha crecido a una tasa más rápida que la de investigación agropecuaria tradicional; que hay mayores índices de colaboración inter-institucional, pero sorprendentemente se detectaron menores esfuerzos de trabajo interdisciplinario.



**Figura 15.** Impactos. Interacciones entre actores del sector agropecuario para atacar la adaptación al cambio climático.

Algunas de las limitantes detectadas en la investigación sobre las relaciones entre agricultura y cambio climático en América Latina y el Caribe (Magrin, 2015) son:

i. Falta de información de alta resolución y calidad respecto a las series de tiempo sobre variables climáticas, oceánicas e hidrológicas, que ayuden a entender mejor la variabilidad climática y tendencias para los eventos extremos, especialmente en América Central y el Caribe.

ii. Desequilibrio entre países en cuanto a la disponibilidad de información sobre los impactos del cambio del clima sobre la agricultura, el agua, los ecosistemas y la vulnerabilidad de los sistemas agrícolas existentes. Si bien se han realizado algunos estudios para Brasil, el sur y sudeste de América del Sur, en cambio es muy poca o nula la información disponible para América Central, los países insulares del Caribe y la zona Andina. Pero en general existe la necesidad de estudios que contemplen los impactos actuales y las causantes de las vulnerabilidades en todos los sectores a lo largo de la región, considerando los eventos extremos para mejorar las evaluaciones de gestión de riesgo.

iii. Escasa difusión de los resultados obtenidos, los cuales con frecuencia quedan en informes internos de poca difusión y difícil acceso. Esto conlleva muchas veces a que se presente superposición y repetición de actividades de investigación dentro y entre países con condiciones similares.

iv. Faltan estudios integrados y multidisciplinarios que ayuden en la evaluación de los impactos y proyecciones, así como a entender las interacciones complejas entre los sistemas naturales y socioeconómicos. Asimismo, la velocidad de los cambios (p.e., tasa de deforestación, cambios de uso del suelo, condiciones económicas) requiere de una actualización continua de las bases de datos. Debe reconocerse sin embargo que cada vez hay mayores avances en el análisis

espacial usando imágenes satelitales de alta resolución.

v. Falta investigación sobre la capacidad adaptativa de los sistemas existentes, reconociendo los posibles aportes del conocimiento local y de los principios agroecológicos, en alguna medida soslayados en la investigación que caracterizó la Revolución Verde.

vi. Urgencia de contar con recursos económicos para la identificación, evaluación participativa, la conservación y la difusión de recursos genéticos locales -de plantas y animales- resilientes a las condiciones adversas propias del cambio climático.

vii. Necesidad de reforzar las investigaciones que deriven en políticas públicas para ayudar a las sociedades a hacer frente a la variabilidad climática actual y al aumento de los eventos extremos.

El análisis de las tendencias en investigación agrícola en el contexto del cambio climático también ha permitido detectar que la cooperación entre los sistemas nacionales de innovación con los centros internacionales del CGIAR y con instituciones en países extracontinentales es mayor que la cooperación intra-regional. Respecto a esto último, entre los países que muestran mayor cooperación intra-regional destacan Colombia, Brasil, México, Perú, Costa Rica y Chile, y los temas con mayor cobertura son: cambio de uso de la tierra, prácticas de manejo del suelo, biodiversidad, emisión y secuestro de gases de efecto invernadero, y sobre los efectos de la variabilidad climática sobre la agricultura. Pero, cuando se hace un balance de los temas tratados por los investigadores se ve que ha habido más énfasis en la mitigación que en la adaptación al cambio climático.

En respuesta a esos hallazgos, (Rodríguez et al 2015) propusieron las siguientes recomendaciones:

i. Promover una mayor colaboración entre los países de la región. Si bien existen mecanismos

como PROCISUR, PROCITROPICOS, PROME-CAFE y algunos otros (Ardilla, 2010), todavía hay espacio para fortalecer las relaciones de cooperación en investigación y capacitación, con una cada vez mayor interacción entre los sectores público y privado.

ii. Promover agendas de investigación que otorguen mayor relevancia a la innovación orientada a la adaptación al cambio climático, así como a los impactos de este sobre la seguridad alimentaria y el bienestar de las familias rurales.

iii. Hacer énfasis en adaptación de los sistemas productivos como conjunto, y no sólo la adaptación de un rubro particular; lo cual supone integrar aspectos tales como los agroecosistemas, las prácticas de manejo y los aspectos sociales, entre otros.

iv. Los estudios sobre mitigación y adaptación al cambio climático con frecuencia ignoran la sinergia entre ambos; pero se espera que este enfoque tenga cada vez más relevancia, particularmente ahora que se hace más énfasis en el concepto de “agricultura climáticamente inteligente” que se propuso en el 2010.

v. Hace falta estudios orientados a cómo medir la adaptación de un sistema o rubro al cambio climático, y definir mejor los temas de adaptación incremental, sistémica y de transformación.

Como resultado de este análisis parece que en la definición del trabajo futuro sobre la interfaz agricultura - cambio climático se debe: identificar nuevas temáticas a considerar, priorizar las necesidades nacionales y regionales, así como los ecosistemas de mayor interés, y dentro de estos los rubros específicos y sistemas de producción a los que se debe dar mayor prioridad en los estudios de adaptación.

#### **4.1.2 Los servicios de extensión**

La extensión en LAC ha sufrido una evolución (FAO/BID, 2016) del Modelo Lineal (1950-1980), al

Interactivo (1980-2000) y finalmente el Reflexivo (a partir del año 2000). En el Modelo Lineal los extensionistas transmitían los conocimientos y los productores eran receptores; en el Modelo Interactivo se valoraban los conocimientos, prácticas y la capacidad para innovar de los productores; y en el Modelo Reflexivo se mantiene la valoración del conocimiento local, pero además se consideran otros temas relevantes como es la calidad de los productos, el acceso a los mercados, el desarrollo sostenible, el cambio climático y la seguridad alimentaria, entre otros. Esto indica que al menos las propuestas de adaptación al cambio climático tendrán un mejor espacio en aquellos países donde los esquemas de extensión han evolucionado hacia el Modelo Reflexivos.

Lo bueno es que prácticamente en todos los países los servicios de extensión han cambiado de su función original y tradicional de facilitar el cambio técnico, para incorporar además el cambio institucional y la gestión de iniciativas de desarrollo (Ardilla, 2010). Sin embargo, para que esto se haga efectivo es necesario el desarrollo de nuevas capacidades en los organismos responsables de la extensión, pero también una apertura fundamental hacia otros entes y actores que puedan aportar conocimiento y experiencia inter- y multi-disciplinaria. Es por esa razón que toma más sentido el que los servicios de extensión pasen a ser parte de los sistemas de innovación, con la participación de múltiples actores.

Otra tendencia observada en las últimas décadas con relación a los servicios de extensión agropecuaria son las iniciativas de descentralización y tercerización de la extensión y asistencia técnica, pero no siempre han mostrado la efectividad deseada, porque las acciones descentralizadoras de los servicios de extensión no han ido acompañadas de la asignación de recursos suficientes a las regiones y de medidas efectivas y eficaces de articulación al ámbito nacional y al contexto internacional. En cuanto a la tercerización, en varios países se ha promovido el establecimiento de un “complejo público-privado” tendiente a la creación de

un “mercado de servicios”, bajo la conducción pública y en un proceso de redefinición de la naturaleza, calidad, focalización y orientación de los servicios gubernamentales. El éxito de estas iniciativas ha sido variable, pues los usuarios notaron un cambio derivado del pago por un servicio que era tradicionalmente gratuito, y que en varios casos resultó en la exclusión de aquellos que no podían pagarlo. Pero esto también trajo la valoración de una función que no necesariamente era apreciada por los productores en todas sus implicaciones económicas.

Una opción de mayor relevancia para los grupos de escasos recursos que practican la agricultura familiares el denominado Sistema Progresista-Renovador (Ardila, 2010) que incluye dos elementos fundamentales: i. Retomar la tecnología tomando en cuenta las demandas y la visión de la familia, las condiciones propias de los sistemas de agricultura que ellos practican para incrementar su resiliencia al cambio climático, respetando la lógica de la multifuncionalidad de esos sistemas de producción, mejorando su productividad, pero sin alterar significativamente la estructura de los costos unitarios de producción, ni afectando el medio ambiente; y ii. Ampliar la cobertura para cubrir grandes conglomerados de agricultores y comunidades nativas que, si bien están en situaciones de precariedad o de aislamiento y elevada pobreza, su inclusión en los programas de Extensión y Asistencia Técnica podría darles la oportunidad de generar excedentes económicos suficientes para mejorar su nivel de vida.

El análisis de las experiencias en extensión implementadas en LAC deja en evidencia que no puede haber un modelo único, pues la realidad productiva y los sistemas políticos varían entre y dentro de países, pero en todos ellos debe considerarse el cómo hacer que la agricultura familiar sea viable, con suficientes niveles de productividad que permitan a las familias pasar del autoconsumo a la orientación de mercado, y que ayuden a que estos sistemas sean competitivos y resilientes al cambio climático.

Para el logro de este propósito, es fundamental reforzar los mecanismos de asociatividad de las familias productoras, usando -en la medida de lo posible- formas de asociación ya existentes en las comunidades, pues los productores individuales tienen menores oportunidades de acceso a los servicios de extensión (Barrantes-Bravo et al, 2017), al crédito y menor habilidad competitiva en el mercado. Diversas experiencias en LAC han demostrado que es el mercado quien estimula la formación y el desempeño de las empresas asociativas campesinas en respuesta a la existencia de costos de transacción altos y cuando existen restricciones importantes de acceso al mercado por factores de escala, calidad o estacionalidad, y es sólo bajo estas condiciones que la asociatividad ofrece ventajas claras (Berdegué, 2000). Además, la existencia de grupos organizados de productores con problemas y oportunidades semejantes facilita la implementación de métodos de aprendizaje participativos, que son la base para un proceso efectivo de transferencia de tecnología con productores de escasos recursos (Aguilar et al, 2010). Sin embargo, para que estos grupos tengan éxito es necesario que los mismos creen sistemas de reglas y normas que rigen la relación entre los socios, y entre la organización y el mundo exterior (Berdegué, 2000).

#### **4.1.3 Las Plataformas de Innovación**

En la última década se ha presentado un interés fuerte por las llamadas plataformas tecnológicas (PT), las plataformas de innovación (PI) y los sistemas nacionales de innovación agropecuarios (SNIA). En ese sentido, no existe consenso con relación a la terminología, los alcances y la gestión de estos mecanismos, sin embargo, el punto crítico central es el buscar y catalizar la articulación de esfuerzos y capacidades para superar una limitación o aprovechar una oportunidad (Trigo et al, 2013). Para propósitos del presente documento usaremos el término Plataforma de Innovación para referirnos al mecanismo que vincula el desarrollo científico y tecnológico con adopción de resultados e

impacto en la sociedad, partiendo de un acuerdo contractual que integra y define a priori una visión común entre las partes, para compartir capacidades, responsabilidades, recursos de inversión, propiedad intelectual y beneficios (Trigo et al, 2013).

En ese sentido, las plataformas de innovación se han visto como un mecanismo promisorio para lograr cambios en los paradigmas de investigación para el desarrollo, ya que son escenarios donde los diferentes actores (i.e., productores, investigadores, extensionistas, comercializadores, decisores, etc.) dialogan abiertamente, analizan problemas, buscan soluciones a los problemas comunes de los actores que participan en la plataforma, e identifican los vacíos de información, lo cual va a guiar los esfuerzos de investigación, extensión, asistencia técnica y la definición de políticas sectoriales de interés común (Schut et al, 2016). Por ello, se ve la innovación como un proceso co-evolucionario, en el cual las plataformas de innovación son entes dinámicos, que deben fortalecer la retroalimentación, el aprendizaje y el manejo adaptativo en los procesos de innovación (Kilelu et al, 2013).

Algunos ejemplos de plataformas de innovación que han resultado exitosas en América Latina y el Caribe son el programa Modernización Sustentable de la Agricultura Tradicional (MasAgro) en México, los programas Papa Andina y Cambio Andino en Bolivia, Colombia, Ecuador y Perú (Magrin, 2015) y el Programa Mesoamericano Agro-Ambiental (MAP) del CATIE, que trabajó en la Región Centro-Norte de Nicaragua y en la región transfronteriza entre Honduras, El Salvador y Guatemala conocida como El Trifinio. MasAgro promovió el trabajo que realizaban los agricultores mexicanos, con el apoyo de organizaciones internacionales dedicadas a mejorar la agricultura, para obtener rendimientos de cultivos más elevados y estables, incrementar los ingresos y reducir el efecto de las prácticas agrícolas tradicionales sobre el cambio climático. La iniciativa que cuenta con la ayuda de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA) y el

Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT), está dirigida a pequeños productores que no tienen acceso a tecnología ni a información de mercado, y se concentra en el desarrollo de prácticas agronómicas innovadoras (incluyendo agricultura de conservación y de precisión) y en el uso de semillas mejoradas de alto rendimiento. El programa utiliza como base los sistemas de producción de maíz, trigo y otros cereales de grano pequeño mediante el establecimiento de una red de nodos de innovación (“hubs”) en zonas agroecológicas definidas para atender a todos los estratos de productores. Los hubs están integrados por plataformas para el desarrollo y la difusión de las tecnologías que se promueven y por módulos demostrativos establecidos con productores participantes con el apoyo de extensionistas.

Los programas Papa Andina en Perú, Bolivia y Ecuador (liderado por el CIP), y Cambio Andino en Bolivia, Colombia, Ecuador y Perú (liderado conjuntamente por el CIP y el CIAT) también constituyeron plataformas de innovación, pero en ellas además se facilitó el acceso de los participantes a los mercados mediante el desarrollo de nuevos productos. Papa Andina y Cambio Andino utilizaron métodos participativos para el desarrollo local y para mejorar los medios de vida de los pequeños agricultores mediante los denominados Sistemas Locales de Innovación Agrícola, los cuales además de promover innovaciones construidas sobre la base del conocimiento local de los campesinos, buscaron facilitar el desarrollo de nuevos mercados para los productos agrícolas.

Por otro lado, el Programa MAP del CATIE abordó cinco problemas prioritarios que afectan a Mesoamérica: pobreza, inequidad, inseguridad alimentaria y nutricional, degradación de los servicios ecosistémicos y vulnerabilidad ante el cambio y la variabilidad climática. Para abordarlos se utilizó el enfoque de Territorios Climáticamente Inteligentes (TCI), de forma sistémica, multidisciplinaria y multi-escala (CATIE, 2015). Como resultado de los esfuerzos de MAP se diversificó la dieta de las familias, gracias a la incorporación de una amplia variedad

de alimentos, provenientes principalmente de un aumento en la producción familiar; se lograron mejoras de las relaciones de equidad entre mujeres y hombres en la toma de decisiones a nivel de los cultivos, y la diversificación e intensificación sostenible de la producción en los huertos contiguos a la casa y en las fincas. Se trabajó con el enfoque de Escuelas de Campo (ECA), pero además se fortalecieron las capacidades de aquellas organizaciones empresariales a las cuales se vinculaban las familias participantes del programa, lo que permitió crear al menos 40 nuevos productos en cuatro cadenas de valor: cacao, café, hortalizas y lácteos, así como lograr el acceso a nuevos mercados. La institucionalización del enfoque TCI en plataformas de innovación y gobernanza territorial contribuyó al éxito, y lo importante es que el enfoque continúa siendo utilizado después de la finalización del programa.

#### **4.2 DESARROLLO DE CAPACIDADES Y ACCESO AL CONOCIMIENTO PARA PROMOVER UNA AGRICULTURA MÁS RESILIENTE AL CAMBIO CLIMÁTICO**

En América Latina y el Caribe, al igual que en el resto del mundo, hay urgencia de hacer esfuerzos en educación y difusión del conocimiento sobre el tema de la adaptación al cambio climático, pues esto se ha constituido en una barrera para reducir los impactos del cambio y la variabilidad climática, así como para desarrollar mecanismos que contribuyan a reducir los riesgos asociados con los eventos meteorológicos extremos -p.e. sequías, inundaciones- cada vez más frecuentes (Magrin, 2015). Es por ello que la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (ONU, 1992) establece en su Artículo 6 sobre “Educación, formación y sensibilización del público” una serie de lineamientos para la elaboración y aplicación de programas de educación y sensibilización del público sobre el cambio climático y sus efectos, de manera que puedan participar en su estudio y en la elaboración de las respuestas adecuadas.

Es claro que la educación es un elemento fundamental en la promoción de estrategias

de adaptación al cambio climático no sólo para los actores directamente relacionados con el sector agrícola, sino también para otros sectores de las cadenas productivas, incluyendo a los consumidores; pues los diferentes sectores de la población no sólo son afectados por el cambio climático, sino que con su comportamiento pueden contribuir a exacerbar las causales de este.

Por su parte, el órgano de las Naciones Unidas para la Educación, Ciencia y la Cultura (UNESCO), insiste en que la solución de los problemas asociados al cambio climático no es sólo función de los gobiernos y los científicos, sino de toda la población, razón por la que ha establecido cuatro programas relacionados con el cambio climático en su agenda, y uno de ellos es justamente la Educación sobre el Cambio Climático en el marco general de la Educación para el Desarrollo Sostenible (UNESCO, 2014). En él se contempla que los países revisen sus programas de educación e incorporen la temática del cambio climático en todos los niveles, tanto en el ámbito formal como en el no formal, que se trabaje en la formación de los docentes para encarar esa temática, así como en la elaboración de material didáctico para todos los niveles de educación, desde la primera infancia -que es la mejor manera de modificar los comportamientos y actitudes- hasta el universitario. Este aspecto es aún más relevante en el caso de los programas de educación que se implementan en el medio rural.

Para garantizar la pertinencia y alcance de estos esfuerzos, la educación sobre el cambio climático debe estar acorde con el contexto local, y en la medida de lo posible hacer referencia a las prácticas tradicionales que pueden contribuir a la adaptación. Varias de las experiencias promovidas por la UNESCO, así como en conjunto de herramientas que pueden usarse para incorporar los conceptos de adaptación al cambio climático en los currículos, a diferentes niveles de la educación, se encuentran en: <http://www.unesco.org/new/en/education/themes/leading-the-international-agenda/education->

[for-sustainable-development/climate-change-education/cce-clearinghouse/search/](http://for-sustainable-development/climate-change-education/cce-clearinghouse/search/)

La educación científica a nivel escolar y universitario va a contribuir en gran medida a sensibilizar a los alumnos y mejorar sus competencias para adaptarse al cambio climático. Un buen desempeño en el área científica y la conciencia de los problemas ambientales suelen ir de la mano, y ambos están relacionados con un sentido de responsabilidad que respalda una gestión sostenible del medio ambiente. Debe reconocerse que si estos esfuerzos no se hacen realidad va a resultar en una sociedad menos informada, pobremente preparada para enfrentar los retos y más vulnerable al cambio climático, y por lo tanto con más dificultades para trabajar en la sostenibilidad.

En el caso de las universidades, es necesario que estas trabajen en el proceso de incorporación de la temática de adaptación al cambio climático como parte de sus funciones sustantivas: formación, investigación, extensión o proyección social y gestión, no solo por coherencia estratégica, sino porque deben constituirse en un referente y soporte del proceso de fortalecimiento de la institucionalidad y de las capacidades para la adaptación al cambio climático en su conjunto. La clave no sólo es incorporar el tema de la adaptación y gestión de riesgo en el currículo de las carreras universitarias de pre- y posgrado, sino que estos temas deben formar parte de una dimensión estratégica institucional orientada al desarrollo sostenible en las universidades, la cual incorpore los siguientes objetivos fundamentales (Programa de Prevención de Desastres de la Comunidad Andina, 2007):

i. Contribuir al logro de una visión de la realidad nacional que incorpore los temas de la adaptación y mitigación del cambio climático;

ii. Asumir la responsabilidad de generar y compartir conocimientos sobre la gestión del riesgo y adaptación al cambio climático, como parte de las estrategias de desarrollo sostenible; y

iii. Apoyar en la preparación de todos los niveles de la sociedad para la toma de decisiones respecto a la gestión del riesgo y adaptación al cambio climático.

Para incorporar los temas de cambio climático en la formación universitaria deben superarse las siguientes limitantes (Chakeredza et al., 2009):

i. Falta de preparación de los docentes para cubrir los temas importantes asociados al cambio climático que deben ser incorporados en el currículo.

ii. Los currículos universitarios con frecuencia están basados en lo que se enseña en los países desarrollados, pero sabemos que estos no corresponden necesariamente al tipo de agricultura que se practica en los países en desarrollo, particularmente en el caso de la agricultura familiar y la producción de escala pequeña.

iii. Los métodos de enseñanza con frecuencia no responden a las capacidades y experiencias de los educandos.

iv. Hay poca interacción entre las universidades y las comunidades rurales. Esto se exagera porque con frecuencia las universidades están en la ciudad, alejadas del medio rural, y a menudo no se busca la retroalimentación del sector rural en el diseño del currículo.

v. Hay poca participación del sector privado en el diseño y aplicación del currículo.



Las nuevas generaciones de profesionales que egresen de las universidades e instituciones de educación superior incluirán en su formación las temáticas de la adaptación y mitigación del cambio climático y el control de riesgos; en cambio, los profesionales y técnicos que han estado trabajando por varios años en los programas de asistencia técnica y extensión agrícola no han recibido esos temas en sus programas de formación. Por esa razón se hace necesario efectuar un diagnóstico de la preparación de éstos para contribuir al desarrollo de las capacidades de los productores para enfrentar los retos del cambio climático. Este análisis debe cubrir no sólo los conocimientos, sino también las habilidades y actitudes de los proveedores de servicios, y con base en ello definir un programa de capacitación para los mismos, sobre las relaciones entre el cambio climático y la agricultura, así como sus impactos sobre los medios de vida de las familias productoras, el cual debe considerar no sólo los aspectos tecnológicos de las innovaciones, sino también los organizacionales y otros factores habilitadores del cambio (FAO, 2013). La capacitación que se ofrezca no debe limitarse sólo a sesiones de aprendizaje, sino el acompañamiento de los participantes y la promoción del trabajo colaborativo en redes y eventos donde los participantes puedan compartir sus experiencias.

Para la evaluación del conocimiento técnico que poseen los proveedores de servicios de extensión vale la pena considerar las innovaciones para la adaptación al cambio climático identificadas en el presente informe (Sección 3). Las mismas deben ser la guía para la elaboración de los programas de refrescamiento de los técnicos involucrados, pero la definición de cuáles incluir va a depender de lo que indique el diagnóstico sobre el conocimiento y familiaridad con dichas innovaciones. Adicionalmente a los temas tecnológicos, los proveedores de servicios a

los productores deben reforzar además sus capacidades de liderazgo, las herramientas de análisis financiero, y las técnicas para el trabajo en grupos usando metodologías de aprendizaje participativo, pues es bien reconocido el rol que puede jugar el enfoque de Escuelas de Campo (ECAs) sobre este particular. La innovación relacionada con la adaptación al cambio climático según (Leeuwis y Hall 2010) ahora no sólo se refiere a nuevas tecnologías (“hardware”), sino también nuevas formas de encarar los problemas (“software”) y nuevas formas de organización institucional (“orgware”), todas ellas consideradas cuando se trabaja en las ECAs. En el Cuadro 11 se indican los temas relacionados al cambio climático relevantes que deberían incluirse en los currículos universitarios, así como en los programas de refrescamiento de profesionales.

Varios gobiernos han iniciado esfuerzos para la capacitación de sus cuadros de asistencia técnica y extensión, de manera que estos se preparen para apoyar efectivamente a los productores en la adaptación y mitigación al cambio climático. Ejemplos de este tipo son los desarrollados por SAGARPA en México, en que han capacitado a sus profesionales para la implementación de los denominados Observatorios de Cambio Climático en Agricultura, cuya finalidad es facilitar la toma de decisiones relacionadas con las alertas tempranas de heladas, sequías, plagas y enfermedades, así como en la adopción de nuevas tecnologías y buenas prácticas que impulsen la productividad y la adaptación y mitigación de los efectos del cambio climático en las actividades productivas del campo para el caso de las Zonas Norte, los Valles del Altiplano Central y las Zonas Tropicales de México (SAGARPA, 2017). Un enfoque similar está siendo aplicado en Costa Rica como parte de los NAMAs Café (Nieters et al, 2015) y Ganadería (MAG, 2015).

**Cuadro 11. Propuesta de la temática de cambio climático a ser integrada en los currículos universitarios y en los programas de refrescamiento profesional.**

Tema General	Temas específicos para considerar
<b>Introducción al Cambio Climático</b>	Implicaciones del cambio climático sobre los medios de vida de la gente y la economía nacional y mundial
<b>Calentamiento Global</b>	Las causas del calentamiento global y las proyecciones bajo diferentes escenarios
<b>Agrobiodiversidad</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Necesidad de mantener la agrobiodiversidad bajo las amenazas del cambio climático</li> <li>• Impacto de los cambios de uso de la tierra sobre la agrobiodiversidad al nivel de ecosistemas, especies y dentro de especies</li> <li>• Adaptación al cambio climático: opciones dentro de la agrobiodiversidad</li> <li>• Enfoques para introducir estrategias de adaptación en la investigación, extensión y la implementación de políticas</li> </ul>
<b>Biocombustibles</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• La necesidad de reducir las emisiones de carbono</li> <li>• Producción de combustibles alternativos, con énfasis en los biocombustibles</li> <li>• Implicaciones socioeconómicas</li> </ul>
<b>Fuentes de energía alternativa</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Eólica, hidráulica, geotérmica</li> <li>• Experiencias de uso de estas en sistemas agrícolas para diferentes tipologías de productores</li> </ul>
<b>Estrategias de Adaptación</b>	Opciones para el control de riesgo y adaptación a los efectos adversos del cambio climático, en función de las diferentes tipologías de productores y sistemas de producción
<b>Estrategias de Mitigación</b>	<p>Opciones para la mitigación del cambio climático:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero</li> <li>• Incremento del secuestro de carbono</li> </ul>
<b>Aspectos de políticas globales y nacionales sobre el cambio climático</b>	El marco de políticas: Convención Marco de las Naciones Unidas para el Cambio Climático; Protocolo de Kioto; Mecanismos de Desarrollo Limpio (MDL); Planes Nacionales de Acción para la Adaptación (NAPA); Acciones Apropriadas de Mitigación a Nivel Nacional (NAMA)

En el caso del Cono Sur, el IICA/PROCISUR condujo el proyecto titulado “Estrategias de extensión: los agricultores familiares y su adaptación al cambio climático en territorios seleccionados del Cono Sur”, el mismo que probó diferentes mecanismos para que los servicios de extensión pudieran preparar a los agricultores de pequeña escala para adaptar sus sistemas al cambio climático. Como producto de esos esfuerzos, los institutos nacionales de investigación y extensión agropecuaria nacionales y el IICA propusieron diferentes herramientas que los equipos de extensión pueden usar para abordar la adaptación al cambio climático en los sistemas de agricultura familiar. Las lecciones aprendidas en dicho proyecto están sirviendo de base para que los servicios de extensión de los países del Cono Sur incorporen la temática de adaptación al cambio climático en sus programas de extensión. En la publicación resultante de ese proyecto (IICA, 2013) se describen los temas sobre los cuales los extensionistas deben prepararse, y las herramientas participativas que pueden utilizar para la formación de los productores en estrategias de adaptación al cambio climático. Cabe anotar que los temas propuestos coinciden en cierta medida con varios de los descritos en el Cuadro XX. Entre los temas propuestos en (IICA 2013) destacan los siguientes:

- i. Terminología relevante para entender el cambio climático: diferencias entre tiempo y clima, cambio climático y variabilidad climática, y vulnerabilidad versus adaptación.
- ii. Información climática relevante para el área donde trabaja el extensionista o prestador de servicios de asistencia técnica, el cómo conseguirla e interpretarla.
- iii. Análisis de la vulnerabilidad de los sistemas al cambio climático
- iv. Identificación y priorización de las opciones de adaptación
- v. Planeamiento e implementación de opciones de adaptación

- vi. Monitoreo de las acciones de adaptación implementadas

#### **4.3 EMPODERAMIENTO DE LOS ACTORES A TRAVÉS DE ACCIONES COLECTIVAS COMO BASE DE LA ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO Y LA REDUCCIÓN DE RIESGOS**

La identificación, implementación y escalamiento de innovaciones para la adaptación al cambio climático y la reducción de los riesgos asociados a este, es un proceso complejo que involucra decisiones que comprometen a varios grupos de interés (“stakeholders”), entre ellos los agricultores y la comunidad en general, las instituciones gubernamentales, las ONGs, las agencias de cooperación internacional, las instituciones financieras, las empresas comerciales, etc. Esto en buena medida ha sido discutido en la sección 4.1.3 (Plataformas de Innovación). En la literatura con frecuencia se hace referencia al “empoderamiento” haciendo énfasis sólo a los grupos de mujeres, como un sector de la sociedad que tiene acceso limitado a los procesos de toma de decisiones; sin embargo, en este caso se enfatiza la necesidad de empoderamiento de todos los grupos de interés organizados para planear el cómo enfrentar los impactos del cambio climático, luego de identificar sus propias prioridades y necesidades, y de reconocer sus conocimientos y capacidades, pero también sus limitaciones (FAO, 2013).

El reconocimiento del rol de los diferentes actores que participan en los procesos de innovación representa un cambio de paradigmas en los programas de desarrollo, pues por muchos años la promoción de las innovaciones en el sector agrícola dependió mayormente de intermediarios del sector público, como son los servicios de investigación y extensión agrícola, o de los responsables de los programas financieros. Sin embargo, estos tuvieron un éxito limitado en la mayoría de los casos, pues partían de la visión y percepciones de ellos como responsables de liderar el proceso, sin considerar necesariamente las demandas y necesidades de los otros actores involucrados. Además, con frecuencia se

centraban en el logro de un objetivo, como por ejemplo el incremento de la productividad. En contraste, hoy en día los gobiernos nacionales o regionales y las agencias de asistencia para el desarrollo enfrentan la difícil tarea de identificar configuraciones adecuadas de gestión sistémica de las innovaciones, para que las intervenciones en el sector agrícola busquen resolver de manera participativa no sólo un reto, como puede ser el impacto del cambio climático sobre la sostenibilidad de la producción agropecuaria, sino también el cómo estas intervenciones pueden contribuir a la mitigación de la pobreza, la seguridad alimentaria, a evitar daños en la base de recursos naturales e infraestructura, entre otros (Klerkx et al, 2013).

Esto supone la búsqueda de nuevas formas de trabajo para buscar soluciones a los problemas que enfrenta el sector rural, pues las experiencias previas en LAC y el resto de países en desarrollo han mostrado que no es recomendable -y menos eficaz- trasplantar esquemas organizacionales de los países desarrollados a los países en desarrollo, e incluso entre estos últimos, sino que debe entenderse el proceso que rige el surgimiento y la evolución de las configuraciones de gestión de las innovaciones en situaciones específicas, para adaptarlas a cada condición particular. Lo que sí, prácticamente en todos los casos, ha sido fundamental que los actores estén organizados, informados y preparados para estructurar sus demandas de servicios de innovación y condiciones para habilitarlas, o de políticas de facilitación para la institucionalización de la innovación y su eventual escalamiento; y que sean capaces de gestionar interfaces de conocimientos para acceder y redirigir los recursos públicos, especialmente si se identifican coincidencias con los programas de los gobiernos locales y regionales (Torres, 2013).

También se ha visto la necesidad de contar con el apoyo informado de la comunidad, la cual en última instancia se beneficiará de los resultados de la adaptación al cambio climático, tanto en términos de la mejora en la disponibilidad de alimentos y el bienestar de la población, como por los riesgos evitados. No hay que olvidar que los procesos de descentralización y elección popular

de los gobernantes locales que se han venido implementando en la mayoría de los países de LAC han venido dando más poder a las comunidades, y este puede ser utilizado para generar nuevos modelos en la administración pública. Cuando este nuevo esquema de operación y los resultados obtenidos han satisfecho las expectativas de los grupos organizados, éstos se han convertido en una fuerza que ha logrado influir directamente en la administración estatal (Bernal, 2013).

Pero el escalamiento de cualquier innovación orientada a la adaptación al cambio climático implica también un proceso complejo de aprendizaje colectivo, que supera las experiencias organizacionales particulares (Torres, 2013), y requiere de plazos mayores y de condiciones de facilitación, a partir de lo siguiente:

- i. Interacción entre oferentes y demandantes de innovaciones, a través de articuladores, que pueden ser agentes directos o indirectos, públicos o privados.
- ii. Interacción a través de plataformas de concertación de cadenas productivas, como espacios en los que productores organizados estructuran sus demandas por servicios de innovación y entornos de facilitación —como políticas— para la institucionalización de la innovación. Estas requieren de acuerdos con las entidades oferentes de servicios, insumos y financieras, y con los gobiernos locales y regionales para convertir las iniciativas y agendas en políticas de desarrollo económico y social.
- iii. Generación de propuestas de políticas de desarrollo económico de facilitación del escalamiento de las innovaciones.
- iv. Integración de las políticas de facilitación del escalamiento de las innovaciones rurales a los planes regionales de desarrollo concertado.
- v. Identificación de las oportunidades de mercado que sirva para establecer una estrategia de cambio tecnológico y de diversificación.

Todo esto obviamente requiere que los grupos de demandantes estén empoderados para el escalamiento de innovaciones orientadas a la adaptación al cambio climático; sin embargo, las innovaciones propuestas quedarían detenidas por trabas burocráticas reales o construidas si es que no hay voluntad política para facilitar su escalamiento (Vivanco y Bellatin, 2013). En consecuencia, es necesaria la participación de políticos que crean en la relevancia de la adaptación de los sistemas productivos al cambio climático como una alternativa válida y viable para el control de riesgos, la seguridad alimentaria y la superación de la pobreza rural, y que por ende esos decisores asignen una prioridad entre sus planes a dichas innovaciones. Esto aplica tanto a nivel de los gobiernos locales como del central. Pero, para que la promoción de estas innovaciones forme parte de las políticas públicas nacionales o locales, será necesario que los grupos organizados de actores estén organizados y empoderados para abrir canales de comunicación con las autoridades gubernamentales, e incluso cuando fuere necesario ejerzan presión para el logro de esos objetivos.

#### ***4.3.1 mecanismos de financiamiento e incentivos para promover la implementación de sistemas menos vulnerables al cambio climático***

La búsqueda de instrumentos para combatir la pobreza rural y mejorar la competitividad de la agricultura ha sido continua en LAC; sin embargo, el principal cuestionamiento está en cómo lograr que los sectores menos favorecidos tengan acceso a los recursos y que éstos se empleen de forma eficiente. La instrumentación de estas estrategias ha pasado desde enfoques paternalistas en que los funcionarios gubernamentales llegan a los usuarios con los recursos, controlan su uso y lideran el proceso de cambio demandado; hasta modalidades participativas en que el gobierno traspasa dichos recursos a los usuarios organizados, para que estos desarrollen los proyectos y aporten recursos complementarios -en especie o monetarios- para impulsar los cambios requeridos (Toro & Espinoza 2003).

Los modelos tradicionales de asignación de recursos para un determinado propósito (p.e. compra de semillas, mejoramiento genético, promoción de sistemas de riego, entre otros), la entrega de un servicio público directo, o la facilitación de créditos subsidiados con tasas de interés preferenciales y a veces incobrables significaron un alto costo para la sociedad y no siempre se cumplieron las metas de llegar con los productos a los usuarios del recurso, en su mayoría los pobres rurales.

En las últimas décadas, en LAC se han venido desarrollando instrumentos financieros más novedosos para fomentar el desarrollo del sector agrícola y del medio rural, dentro del contexto de la adaptación y mitigación del cambio climático. En el sector primario, se considera que las buenas prácticas agropecuarias y el manejo de sistemas agroforestales y silvopastoriles son alternativas que contribuyen a mejorar los medios de vida de las comunidades rurales, mediante la producción de productos amigables con el medio ambiente, los cuales representan una oportunidad para la reconversión sostenible de la producción agrícola. En muchos casos, la falta de capital propio y de financiamiento ha sido una de las barreras más importantes para el logro de la reconversión productiva, especialmente en los estratos de productores agropecuarios pequeños y medianos (López 2005; Trigo et al, 2013). Con tal fin se han diseñado y promueven diversos incentivos que ayuden a promover la adopción de buenas prácticas agropecuarias y que contribuyan a la adaptación al cambio climático.

#### ***4.3.2 Las Certificaciones***

Uno de los esquemas de certificación más desarrollados son los referentes a la producción orgánica, los cuales se desarrollaron en la década de los 70's, e incluían no sólo los estándares y regulaciones para la producción y el procesamiento de productos orgánicos, sino también los esquemas de certificación por organizaciones reconocidas alrededor del mundo (IFOAM, 2016). Recientemente han surgido las etiquetas de certificación ecológica

para aquellos productos producidos en procesos amigables con el ambiente. Las etiquetas ecológicas han sido adoptadas en todas las regiones del mundo, tanto así que hace un año el IFOAM<sup>17</sup> (2016) reportó que un total de 87 países en África, América, Asia, Europa y Oceanía habían implementado regulaciones para la producción orgánica. Sin embargo, hay que señalar que cada país tiene su sello y que los países que deseen exportar deben cumplir no sólo con la regulación local, sino también con la del mercado de destino.

Una barrera para que muchos productores -especialmente los pequeños- accedan a la certificación es la existencia de un modelo burocrático de revisión por parte de terceros (Auditoría), lo cual resulta en un incremento en los costos de producción. En muchos casos, la certificación no conlleva un valor agregado, sin embargo, puede ayudar a asegurar la venta de los productos en mercados específicos. Se estima que la certificación orgánica en LAC cubre apenas el 15% de las áreas cultivadas; sin embargo, para algunos países las exportaciones de café, banano y cacao orgánicos certificados como son más altas que las exportaciones de los no certificados (IFOAM, 2016).

A manera de ejemplo, en la producción de café participan alrededor de 25 millones de productores, pero menos del 2% de ellos responde a los requisitos de certificación para Comercio Justo, Orgánico o Ecológico, los cuales son reconocidos en Japón y la mayoría de los países europeos; pese a ello, dichas certificaciones aportan beneficios adicionales a unos 750 mil hogares y a las industrias en toda la cadena de producción (Giovannucci y Koekoek, 2003). Los programas de certificación de café se dividen en tres tipos, los cuales no son mutuamente excluyentes: Orgánico, Comercio Justo y de Sombrío. Se acepta que estos esquemas de certificación promueven la protección de la biodiversidad y podrían ayudar a mejorar los medios de vida de los caficultores (Philpott et al., 2007).

**i. Café orgánico.** La producción orgánica es un sistema holístico de gestión de la producción

que fomenta el uso de insumos naturales, maximiza el reciclaje de nutrientes y evita el uso de productos derivados de energía fósil, tales como los productos de síntesis química (p.e., fertilizantes, insecticidas, herbicidas, hormonas, reguladores del crecimiento en plantas y animales), así como organismos genéticamente modificados, aguas negras, edulcorantes y conservadores sintéticos en productos transformados (Nájera, 2002; Gómez et al. 2003). Para que un producto sea reconocido como orgánico, este debe realizarse bajo una normatividad y procedimientos de inspección y certificación realizados por agencias acreditadas ante el organismo coordinador de IFOAM.

**ii. Café de comercio justo.** La producción de comercio justo representa una alternativa al comercio convencional que se orienta hacia el desarrollo integral, con sustentabilidad económica, social y ambiental, respetando la idiosincrasia de los pueblos, sus culturas, sus tradiciones y los derechos humanos básicos. Entre los aspectos sociales considerados en el comercio justo se incluyen: condiciones dignas de trabajo, la eliminación de la explotación de trabajo infantil, compensación justa y transparente, garantizando cubrir los costos de producción (Pérez Akaki, 2009). La opción de Comercio Justo se inició en 1969 en Holanda y se extendió a Alemania, Suiza, Austria, Francia, Suecia, Gran Bretaña y Bélgica (Pohlan et al. 2006).

**iii. Café ecológico.** La producción ecológica es un concepto que se está posicionando dentro del mercado de los cafés especiales, formando parte del nicho de los cafés sostenibles y amigables con el medio ambiente. Se trata de un sistema de cultivo desarrollado bajo criterios productivos, ambientales y sociales que favorecen la conservación de la diversidad biológica y que estimulan la conectividad entre ecosistemas naturales fragmentados, así como la protección de microcuencas y cuencas hidrográficas estratégicas (Pagiola y Ruthenberg 2007). Esta certificación tiene

---

17. IFOAM es la sigla en inglés para la Federación Internacional de Movimientos de Agricultura Orgánica

como principal criterio la conservación y protección de la biodiversidad; sin embargo, el sistema permite el uso de ciertos agroquímicos.

#### **4.3.3 Pago por servicios ambientales**

Los ecosistemas naturales proveen una variedad de servicios ambientales que benefician a la sociedad; pero con frecuencia estos servicios no son conservados por la carencia de incentivos. Para solventar este problema, se ha establecido el mecanismo de Pago por Servicios Ambientales (PSA), como instrumento innovador para la implementación de políticas y programas de apoyo a la conservación; el mismo está siendo cada vez más utilizado en los países de América Latina y el Caribe, así como en otras regiones del mundo. Si bien los sistemas de PSA pueden variar según el país, existen elementos comunes como son: sirven como instrumento para la conservación de cuencas hídricas y la biodiversidad, así como la captura de carbono; a menudo se aplican en combinación con otros mecanismos asociados al mercado, así como con la participación del sector privado.

El uso e implementación efectiva de los instrumentos de PSA requiere de marcos legales claros y una institucionalidad eficaz. A manera de ejemplo, en Costa Rica el fundamento legal del PSA es la Ley Forestal N°7575, la cual establece como servicios ambientales: la mitigación de emisiones de gases de efecto invernadero, la protección del agua, la biodiversidad y la belleza escénica natural. Con base en ello, se cuenta con políticas relacionadas al pago a los agricultores de la parte alta de las cuencas por la aplicación de prácticas que ayuden a proteger el recurso agua el cual es indispensable para el bienestar de la población. Otro incentivo de PSA en Costa Rica es el pago por parte del estado -a través de FONAFIFO - a los propietarios de bosques y plantaciones forestales, así como a aquellos que incorporan leñosas a través de sistemas agroforestales y silvopastoriles, por los servicios ambientales que estas prácticas aportan. El PSA agroforestal que opera en Costa Rica desde el

año 2002 establece el pago del equivalente a US\$ 0.40 por árbol en sistemas silvopastoriles, silvo-agrícolas y agrosilvopastoriles (FONAFIFO, 2017). Bajo esta modalidad, a un agricultor se le reconoce con el PSA por la plantación de hasta 3,500 árboles por finca. El financiamiento de este programa proviene del impuesto al consumo de combustibles (principal) y de los convenios firmados con otros países, organizaciones mundiales y empresas privadas y locales que se benefician de los servicios ambientales.

Otro ejemplo de PSA en el sector ganadero fue evaluado por el proyecto Enfoques Silvopastoriles Integrados para el Manejo de Ecosistemas (GEF-Silvopastoril), financiado por GEF, FAO y el Banco Mundial, el mismo que fue implementado por el CATIE en Costa Rica, NITLAPAN en Nicaragua y CIPAV en Colombia. El proyecto desarrolló un esquema de pago por servicios ambientales (PSA) el cual consideró la formulación y uso de un Índice Ecológico (Gobbi y Casasola, 2003) que asigna puntos a cada forma de uso de la tierra según su capacidad de generación de los servicios ambientales de captura de carbono y conservación de la biodiversidad. El índice Ecológico asigna valores entre 0 y 2 a cada una de las 28 formas de uso de la tierra identificados en fincas ganaderas. El valor máximo de 2.0 puntos ecológicos fue asignado al bosque primario (1.0 por biodiversidad y 1.0 por carbono) y el mínimo de 0 puntos ecológicos para las pasturas degradadas (Murgueitio et al, 2003). El PSA por finca fue determinado con base en las áreas asignadas a las diferentes formas de uso de la tierra existentes y su respectivo valor de Índice Ecológico, al inicio como línea de base, más por los cambios efectuados en el uso de la tierra. El total de puntos por finca se cuantificó multiplicando el área de cada uso de la tierra por su Índice Ecológico (Gobbi y Casasola, 2003). La efectividad del PSA como promotor de cambios se manifestó en un período tan corto como cuatro años, por la sustitución de un área importante cubierta de pasturas degradadas por pasturas mejoradas con árboles. Esto evidencia el potencial que tiene este tipo de incentivo para promover la adopción de innovaciones que

ayuden en la adaptación al cambio climático, más aún si las mismas resultan además en mejoras en el nivel de ingreso de los productores (Ibrahim et al, 2007).

#### **4.3.4 Créditos verdes**

Los créditos verdes son instrumentos que proveen recursos -con una tasa de interés subsidiada- para financiar la implementación de tecnologías y buenas prácticas en cualquier etapa del proceso de producción, transformación y comercialización de bienes agropecuarios, que favorecen la mejora de la productividad, la generación de empleo en las comunidades rurales, la adaptación o mitigación del cambio climático, y que ayuden en la prevención de daños ambientales. Los créditos verdes ayudan a eliminar las barreras de acceso al crédito que enfrentan muchos agricultores, mediante la coordinación de los organismos de financiamiento con los que brindan asesoría al productor, contribuyendo a reducir los costos de transacción, facilitando el acceso de diferentes actores de la cadena a los recursos crediticios (Guerrero 2012). Estos créditos se manejan a través fondos especiales tales como: Financiamiento del Sector Agropecuario (FINAGRO) en Colombia, Fideicomiso de Inversión para la Reactivación del Sector Agrícola (FIRSA) en Honduras, Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura (FIRA) en México, y el Programa de Financiamiento para las Micro y Pequeñas Empresas (PROFIPYME) en Panamá.

Un caso exitoso de crédito verde fue el desarrollado por el proyecto Mercados Centroamericanos para la Biodiversidad (CAMBio) entre 2009-2013, el cual surgió como una necesidad de apoyo para priorizar los temas de conservación y uso sostenible de la biodiversidad en el desarrollo y financiación de las micro, pequeñas y medianas empresas (MIPYMEs) de Guatemala, El Salvador, Honduras, Nicaragua y Costa Rica (CAMBio, 2011). El propósito principal del proyecto fue incentivar la transformación de las prácticas productivas y de servicios convencionales hacia aquellas prácticas que contribuyan al mantenimiento de la biodiversidad. El BCIE ofreció una cobertura parcial de crédito para los financiamientos productivos que se otorgan

a las MIPYMEs siempre y cuando incorporen prácticas de conservación o uso sostenible de la biodiversidad en sus negocios, productos y servicios. Las principales inversiones que promovió CAMBio estuvieron distribuidas en tres opciones: sistemas agroforestales en cacao y café (Tudela, 2012), sistemas silvopastoriles (Guerrero y Tobar, 2012) y conservación de bosques.

Las experiencias del proyecto CAMBio evidenciaron que cuando los créditos a pequeños y medianos productores se acompañan con asistencia técnica, es posible lograr la implementación de buenas prácticas agropecuarias y la adopción de sistemas agroforestales y silvopastoriles, así como la mejora en la gestión de la finca, y si las acciones son bien manejadas por los productores, a largo plazo éstas pueden tener impactos positivos en la conservación de biodiversidad.

Estos dos casos, al igual que muchos otros sobre la promoción de incentivos para promover cambios en América Latina y el Caribe, así como en otras regiones, evidencian que los instrumentos financieros son una oportunidad para que los pequeños y medianos productores mejoren sus sistemas de producción, favoreciendo la implementación de estrategias de adaptación y mitigación al cambio climático, pero para tener éxito es necesario que el crédito u otros incentivos vayan acompañados por asistencia técnica. A menudo lo que se necesitan son fondos iniciales para empujar la implementación de buenas prácticas, junto con unos pocos recursos para hacer frente al riesgo financiero de la empresa por cambiar su sistema de producción. Los resultados de esas primeras inversiones sirven posteriormente como catalizadores del escalamiento. Además, para el escalamiento se necesitará de ciertos cambios en las normativas y regulaciones que ayuden a garantizar el acceso de los pequeños y medianos productores a los diferentes instrumentos financieros orientados al desarrollo de un sistema de producción agropecuario sostenible, que contribuya a incrementar la resiliencia de dichos sistemas al cambio climático y a mejorar los medios de vida de los productores.



## 5. MARCO POLÍTICO E INSTITUCIONAL A NIVEL REGIONAL PARA REDUCIR LA VULNERABILIDAD AL CAMBIO CLIMÁTICO

América Latina y el Caribe articulan subregiones muy vulnerables a los efectos del cambio climático, lo cual ha traído consecuencias lamentables para los sistemas agropecuarios y ganaderos de la región. Por ello, el promover acciones de adaptación al cambio climático es fundamental en la búsqueda de escenarios más promisorios para los productores y los gobiernos en el mediano y largo plazo. Los gobiernos de la región se encuentran realizando importantes acciones en esta materia, enmarcados en las políticas mundiales y regionales. Sin embargo, todavía queda un camino importante que recorrer para que todos reconozcan la adaptación como un elemento esencial en las políticas de desarrollo, pues en años recientes (Barnard et al, 2016) las actividades de mitigación en LAC han recibido ocho veces más fondos que las de adaptación (US\$ 2400 millones versus 300 millones, respectivamente).

Se han propuesto diversas intervenciones para buscar la adaptación de los sistemas existentes al cambio climático; sin embargo, para que dichas innovaciones logren permear y permanecer como prácticas sostenibles en el mediano y largo plazo, es esencial también identificar cuál es el marco político e institucional existente a nivel mundial y a nivel de América Latina y el Caribe que facilitarían su adopción. Para este análisis se trabajó en cuatro niveles:

i. Institucionalidad y marco de política a nivel global relacionados con la adaptación y mitigación del cambio climático, considerando los acuerdos que han derivado de la Convención Marco de las Naciones Unidas para el Cambio Climático, particularmente el Acuerdo de París (ONU, 2015).

ii. Políticas regionales que procuran operativizar y materializar las acciones de adaptación y mitigación al cambio climático, dentro del contexto de los mecanismos de integración actualmente existentes.

iii. Instrumentos de política nacional tendientes a operativizar las intenciones de las políticas regionales.

iv. Acciones de política que han emprendido actores externos (en especial provenientes de la cooperación internacional) en apoyo a los países. Para esto último se identificaron proyectos de cooperación o bien iniciativas promovidas por los organismos internacionales para promover acciones de adaptación y mitigación del cambio climático.

### 5.1 INSTITUCIONALIDAD Y MARCO DE POLÍTICAS GLOBALES

Los efectos del cambio climático a nivel mundial comenzaron a ser considerados como críticos por los tomadores de decisiones en la última década de Siglo XX, en que se hizo un llamado de atención a la comunidad internacional respecto a las amenazas planteadas por el efecto invernadero (IPCC, 2014). A partir de esa época, se comienza a construir una institucionalidad mundial sólida y compleja en respuesta a los efectos del cambio climático. Como parte de las respuestas concretas a buscar alternativas frente a este fenómeno, en ese entonces emergente y poco conocido, se constituyó en 1988 el Grupo Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC). El grupo procuraba articular esfuerzos de científicos en diferentes latitudes que permitiera enriquecer el “estado de los conocimientos

científicos, técnicos y socioeconómicos sobre el cambio climático, sus causas, posibles repercusiones y estrategias de respuesta” (IPCC, 2007).

Las primeras evaluaciones del IPCC permitieron articular diversas investigaciones que en ese entonces estaban dispersas, lo que ayudó a tener un panorama integral sobre el cambio climático. En ese entonces, los decisores de alto nivel acuerdan sumar un pilar adicional a la institucionalidad mundial, creando en la Cumbre para la Tierra de 1992 la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), la cual alienta a los países miembros a realizar medidas a nivel nacional para contrarrestar los problemas asociados al cambio climático, y para darle seguimiento se constituyó un órgano supremo de la Convención denominada “Conferencia de las Partes” (COP), la misma que se ha reunido por 22 veces desde su primera sesión en Berlín 1995 hasta su último encuentro en Marrakech 2016.

Cinco años después de haberse adoptado la CMNUCC, los gobiernos reconocen la necesidad de enriquecer la institucionalidad creada con un

instrumento de política que fuese jurídicamente vinculante para los países que se adhirieran al mismo. De este interés surge el Protocolo de Kioto el cual fue adoptado por las partes en 1997 y entró en vigor en 2005. Con el tiempo la convención y la institucionalidad mundial en torno al cambio climático se han fortalecido, incluyéndose instrumentos de política esenciales como los programas nacionales de acción para la adaptación en países en desarrollo (NAPAs), las acciones nacionales apropiadas para la mitigación (NAMAs); así como los esfuerzos por reducir las emisiones derivadas de la deforestación y la degradación de bosques en los países en desarrollo (REDD).

## 5.2 INSTITUCIONALIDAD Y POLÍTICAS A NIVEL DE REGIONES

En Latino América y el Caribe (LAC) existen mecanismos de integración a nivel continental, pero también los hay a una escala menor, como son las regiones. En la Figura 16 se listan esos mecanismos, y en párrafos siguientes se revisa con algo de detalle cómo estos encaran el tema del cambio climático.

<b>América Latina y el Caribe</b>
Organización de Estados Americanos (OEA) Comunidad de Estados Latinoamericanos y Caribeños (CELAC)
<b>Centroamérica</b>
Sistema de la Integración Centroamericana (SICA)
<b>Caribe</b>
Comunidad del Caribe (CARICOM)
<b>Andina</b>
Comunidad Andina de Naciones (CAN)
<b>Sur</b>
Unión de Naciones Suramericanas (UNASUR) Consejo Agropecuario del Sur (CAS)

**Figura 16.** Mecanismos de integración a considerar en las diferentes regiones de LAC.

En la Organización de Estados Americanos (OEA), el tema del cambio climático se aborda de manera indirecta en las políticas regionales. Este se relaciona con la vulnerabilidad climática y la gestión del riesgo, así como con otros temas prioritarios para la región como son la seguridad alimentaria y las migraciones. Se identifican órganos fundamentales, como son la Asamblea General, la Reunión Interamericana de Ministros y Altas Autoridades de Desarrollo Sostenible, el Comité Interamericano para la Reducción de los Desastres Naturales, así como algunas instancias técnicas enmarcadas dentro de la Secretaría Ejecutiva de la OEA, como por ejemplo el Departamento de Desarrollo Sostenible. Cuando se analiza el contenido de las Declaraciones de las dos últimas Reuniones de la Asamblea General, así como de las de Desarrollo Sostenible, se observa que en éstas se hace una mención, aunque sea tangencial al tema del cambio climático. Además, se identifica al Programa Interamericano para el Desarrollo Sostenible 2016 - 2020 como un instrumento de política que enmarca acciones relacionadas con cambio climático.

Sin embargo, aunque a nivel de política regional no pareciera haber asidero para un abordaje directo de la adaptación y mitigación del cambio climático, sí lo hay dentro de la estructura interna de la organización, pues el Departamento de Desarrollo Sostenible maneja las materias de adaptación y mitigación; pero, cuando se analiza en detalle el contenido se encuentra que a nivel de adaptación los esfuerzos están centrados en temas de alertas tempranas y de gestión de riesgos climáticos y de desastres naturales.

El segundo mecanismo de integración a nivel de LAC es la Comunidad de Estados Latinoamericanos y del Caribe (CELAC). En ella, durante la Cumbre de Jefes de Estado y de Gobierno se deriva una Declaración Política y la Reunión de Ministros de Ambiente y otras autoridades nacionales relacionadas con el cambio climático elaboran un plan de acción. Adicionalmente, a nivel operativo se cuenta con un Grupo de Trabajo de Medio Ambiente que se

encarga de abordar las iniciativas concentradas en el cambio climático. Lo importante es que la temática de cambio climático ha estado presente en todas las Declaraciones Políticas de la CELAC, desde la Primera Cumbre celebrada en Santiago de Chile hasta la más reciente llevada a cabo en Punta Cana (República Dominicana) en 2017. Asimismo, ha sido tema de referencia en los últimos cuatro Planes de Acción (del 2014 al 2017).

Sin embargo, en todas ellas el abordaje del tema cambio climático ha estado enfocado en la vulnerabilidad que presentan los países de la región. En cambio, la importancia de invertir en mecanismos relacionados con la rehabilitación de áreas degradadas y la deforestación sólo se ha abordado de manera superficial, y no se visualizan menciones directas a oportunidades para la adaptación de los sistemas agropecuarios al cambio climático mediante innovaciones como las sugeridas en el presente estudio. Adicionalmente, aunque se ha encomendado realizar planes o estrategias que engloben los esfuerzos de la región ante el cambio climático, en la revisión de los documentos consultados no se logró identificar si las mismas ya fueron elaboradas y se encuentran en marcha o si por el contrario no han ido más allá del discurso de las políticas regionales. Al igual que en el caso de la OEA, se considera que hay en la CELAC una serie de ventanas de oportunidad para los resultados del presente estudio, a saber:

- Explorar la posibilidad de incluir las innovaciones de adaptación sugeridas en el Plan Regional de Acción hacia el 2020. Actualmente existe una propuesta que articula el eje de cambio climático, pero sólo desde la perspectiva de conservación de recursos naturales, y no de intervenciones en los sistemas agropecuarios.
- Realizar gestiones para que las innovaciones de adaptación propuestas del proyecto sean consideradas dentro de la Declaración y del Plan de Acción que se derive de la Cumbre CELAC - Unión Europea a realizarse en El Salvador en octubre 2017.

- Compartir las innovaciones de adaptación propuestas con el Grupo de Trabajo de Medio Ambiente que debe elaborar una estrategia multidimensional que facilite la gestión sustentable y que tome en cuenta los desafíos de los países de la región frente al cambio climático.

### 5.3 INSTITUCIONALIDAD Y POLÍTICAS A NIVEL DE LAS SUBREGIONES

Como subregiones en LAC se reconocen Centroamérica, Caribe, Andina y Sur (Figura 9). Para Centroamérica se considera el Sistema de Integración Centroamericana (SICA) como mecanismo de integración. Dentro de él, la unidad operativa para el tema de cambio climático es la Comisión Centroamericana de Ambiente y Desarrollo (CCAD). La región ha hecho un esfuerzo por abordar la temática de manera transversal en diversas políticas e instrumentos de política existentes, pero la que aborda directamente el tema es la Estrategia Centroamericana de Cambio Climático 2010. Sin embargo, la región ha dado unos pasos más para su operacionalización mediante el diseño de instrumentos de política claros que deriven de dicha Estrategia. Es más, en reunión celebrada en septiembre del 2017 el Consejo Agropecuario Centroamericano (CAC) ha lanzado la Estrategia de Agricultura Sostenible Adaptada al Clima para el período 2018-2030 (CAC, 2017), considerada como el instrumento clave para impulsar una agricultura más competitiva, inclusiva, sostenible y adaptada a los efectos del cambio climático y de la variabilidad climática.

En ese contexto, para la escalabilidad de las innovaciones de adaptación propuestas se han identificado las siguientes ventanas de oportunidad:

- Presentar las innovaciones de adaptación propuestas a la Comisión Centroamericana de Ambiente y Desarrollo, para que ellas sean consideradas en futuras acciones técnicas del Comité de Cambio Climático y Gestión Integral del Riesgo.

- Explorar los avances en cuanto a la conformación de la institucionalidad regional sobre transferencia tecnológica y cambio climático que se encuentra considerada en el Objetivo Estratégico 5 de la Estrategia.

- Investigar la posibilidad de que las innovaciones propuestas sean consideradas cuando se diseñen los mecanismos financieros para la transferencia tecnológica que se propone en la Estrategia Centroamericana de Cambio Climático 2010.

- Valorar la posibilidad de establecer una cartera de perfiles de proyectos que incorporen las innovaciones identificadas por el CATIE y que sea sometida a potencial financiamiento por parte de los principales donantes bilaterales presentes en la región que se avocan al tema ambiental.

El mecanismo de integración para los países del Caribe es la Comunidad del Caribe (CARICOM). Los países participantes tienen una tradición de trabajo cohesionado y han logrado canalizar esfuerzos de manera organizada. En la región, el Centro de Cambio Climático de la Comunidad del Caribe (CCCCC) es un actor importante en los esfuerzos para la adaptación y mitigación al cambio climático. A nivel de políticas se analizaron las Declaraciones de las Conferencias 2015 y 2016 del CARICOM, así como el Marco Regional del Caribe para alcanzar resultados de desarrollo en el contexto del cambio climático. En el área de instrumentos se profundizó en el Plan de Implementación 2011 - 2021 del Marco Regional del Caribe, y se hizo un esfuerzo para identificar los mecanismos de financiamiento disponibles exclusivamente para los países del CARICOM.

En el análisis se encontró que en la región existe una institucionalidad sólida, así como mecanismos de financiamiento que coadyuvan a la adaptación y mitigación. Lo que parece hacer falta es una cartera de proyectos regionales que coincida con las prioridades de financiamiento de los donantes, así como la posibilidad de

sumar esfuerzos entre partidas financieras para maximizar y escalar los resultados de esfuerzos puntuales demostrativos sobre adaptación al cambio climático hacia productos regionales con impacto.

Las oportunidades para escalar las innovaciones para la adaptación al cambio climático en los sistemas agropecuarios de los países del Caribe son:

- i. Presentar las innovaciones como una herramienta útil de la operativización de la Estrategia Regional y el Plan de Implementación de Cambio Climático.
- ii. Compartir las innovaciones con el Centro de Cambio Climático de la Comunidad del Caribe (CCCCC) y proponer que estas se incluyan en los proyectos de cooperación que actualmente se reciben de parte de fondos multilaterales y bilaterales.
- iii. Incorporar las innovaciones como temas prioritarios en la cartera para financiamiento de proyectos de adaptación y mitigación del Banco Caribeño de Desarrollo (CDB).

La tercera subregión está conformada por los países andinos, los cuales se integran en la Comunidad Andina de Naciones (CAN). A diferencia de las dos subregiones anteriores, la Andina se encuentra mucho más fragmentada en términos de los esfuerzos con relación a los temas de cambio climático. Si bien tiene la Agenda Estratégica Andina 2010 y la Agenda Ambiental Andina 2012 – 2016, sólo se lograron identificar instrumentos de política específicos que soporten acciones de adaptación para los páramos andinos y de aquellos territorios que son vulnerables al cambio en los glaciares. Lo que sí se identificó es que ha promovido la Red Andina de Universidades en Gestión del Riesgo y Cambio Climático.

Nos encontramos frente a una institucionalidad que, al menos en la investigación de fuentes secundarias y terciarias, pareciera desarticulada

y poco efectiva en la generación de compromisos y proyectos que operativicen las intenciones de adaptación al cambio climático y de la mitigación de sus efectos. Esto no significa que los países no se encuentran interesados en la materia. Sí se evidencian proyectos nacionales importantes, así como fondos de cooperación dirigidos mayoritariamente a la adaptación, pero pocas acciones de carácter regional.

Lo que sí presenta ventaja es la efectividad de la Corporación Andina de Fomento (CAF) en el financiamiento de varias iniciativas subregionales, y que desde hace algunos años está en un proceso de reestructuración hacia lo que se ha denominado Banco de Desarrollo de América Latina, procurando con ello ampliar su cobertura financiera a un espectro que trascienda la Comunidad Andina. Además, el CAF tiene entre sus objetivos contribuir al desarrollo de una economía baja en carbono para reducir el impacto del calentamiento global mediante el desarrollo de acciones de mitigación de los gases efecto invernadero y de adaptación a los escenarios climáticos cambiantes.

Las ventanas de oportunidad identificadas para la escalabilidad de iniciativas sobre innovaciones de adaptación al cambio climático en esta subregión son las siguientes:

- i. La CAF es la institución del Sistema Subregional Andino que demuestra en la práctica mayor trabajo y resultados en el financiamiento de iniciativas, y uno de los temas prioritarios es el de cambio climático. Las innovaciones que se presentan en este informe deberían ser compartidas con los gobiernos nacionales y las autoridades subregionales para que algunas de ellas se consideren en posibles proyectos para la subregión andina.
- ii. Varios organismos donantes han estado activos en el financiamiento de proyectos relacionados con cambio climático, por lo que las innovaciones de adaptación propuestas deberían compartirse con la Mesa de Donantes de la subregión, para su consideración como

elementos dinamizadores que se articulen con los trabajos que la cooperación internacional ya viene realizando.

iii. A nivel de trabajo con la institucionalidad existente, podría ser útil explorar más profundamente con la CAN los avances de las Agendas Estratégica y Ambiental Andina, para definir en qué medida las innovaciones identificadas calzarían con productos concretos de estas políticas que se están implementando o se busca implementar.

La cuarta subregión está constituida por los países del Sur. Para ello, se tomó la decisión de estudiar primero la Unión de Naciones Suramericanas (UNASUR); sin embargo, se detectó que el cambio climático no había sido abordado por ellos. Por ello se decidió enfocar el estudio de esta subregión con otros dos mecanismos de integración: el Consejo Agropecuario del Sur (CAS) y el Mercado Común del Sur (MERCOSUR).

El CAS es un mecanismo de integración cuyas máximas autoridades son los Ministros de Agricultura de la subregión. El mismo tiene un Órgano Superior que congrega a los ministros, así como dos foros (del sector privado y de los Decanos de las Facultades de Agronomía y afines) y dos comités, el de Sanidad Vegetal (COSAVE) y el Veterinario Permanente (CVP). Adicionalmente, el CAS cuenta con una Secretaría Técnica la cual es ejercida por el Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). A nivel de abordaje de temas prioritarios para el Consejo, éste conformó lo que se denomina la Red de Coordinación de Políticas Agropecuarias (REDPA), y uno de sus grupos se ha constituido en torno a “Políticas Públicas y Cambio Climático”. Además, hay otros grupos relacionados con “Riesgos y Seguros” y “Agroenergía”, cuyos alcances trastocan la temática del primero.

Luego de analizar las Declaraciones del CAS 2016 y 2017, así como el trabajo del Grupo Técnico sobre Cambio Climático (GTCC), se derivaron las siguientes ventanas de oportunidad:

i. El GTCC de la REDPA ha preparado la Declaración de Cambio Climático y de Gases de Efecto Invernadero en Ganadería, lo importante es compartir con ellos las innovaciones de adaptación identificadas como alternativas para materializar las intenciones políticas del CAS.

ii. Las innovaciones propuestas podrían ser elevadas a la reunión CAS 2018, en la cual se puedan tomar decisiones respecto a estrategias para la adaptación al cambio climático.

Por su parte si bien el MERCOSUR es un mecanismo de integración con vocación económica y comercial, con los años se han ido incorporando temas relevantes como es el cambio climático, e incluso ha establecido un subgrupo de trabajo relacionado con medio ambiente en el cual se considera el cambio climático. Es más, dentro del MERCOSUR hay reuniones anuales de los Ministros de Medio Ambiente, y en ellas es posible presentar los resultados del presente estudio incluyendo las innovaciones propuestas para la adaptación al cambio climático, pues hasta el momento el énfasis en las reuniones ha sido sobre mitigación del cambio climático, y no tanto en adaptación.

#### 5.4 OPORTUNIDADES DE FINANCIAMIENTO

Las políticas e instrumentos que han elaborado las diferentes instancias regionales, subregionales y nacionales tienen que articularse y entramarse en el andamiaje institucional internacional relacionado con la adaptación y mitigación al cambio climático, a través de los cuales se puede acceder a fuentes de financiamiento que permitan concretar los alcances de las políticas. Un ejemplo es el caso de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) que en los últimos años han logrado cimentar instrumentos fundamentales de política de carácter financiero. En setiembre del 2017 se reunió en Bonn el Comité Ejecutivo de Tecnologías de la UNFCCC para elaborar guías para el apoyo a los países en desarrollo en la

implementación de tecnologías que ayuden a reducir las emisiones de GEI y la adaptación al cambio climático (UNFCCC, 2017a).

Las acciones de la UNFCCC (2017b) como seguimiento al Plan de Acción de Bali permitió la instauración de instrumentos de política importantes y relevantes para LAC, como son los programas nacionales de acción para la adaptación en países en desarrollo (NAPAs), las acciones nacionalmente apropiadas para la mitigación (NAMAs) y los esfuerzos por reducir las emisiones derivadas de la deforestación y la degradación de bosques en países en desarrollo (REED).

Por otra parte, existe el Fondo de Adaptación dentro del Protocolo de Kioto, el cual según el acuerdo de Marrakech (2001) se nutre del 2% de los ingresos de las reducciones certificadas de emisiones que se deriven de los Mecanismos para un Desarrollo Limpio (MDLs), y al cual pueden acceder los países en desarrollo con base en propuestas específicas. También existe la posibilidad de que los Países Desarrollados puedan proporcionar a los Países en Desarrollo recursos financieros relacionados con la aplicación de la CMNUCC por conducto de canales bilaterales, regionales y otros canales multilaterales.

A nivel de fondos multilaterales resaltan los provenientes del Banco Mundial mediante sus diversos proyectos, como por ejemplo el Fondo para la Tecnología Limpia, los Fondos Cooperativos para el Carbono, el Programa de Inversión Forestal, El Fondo Bio-carbono y el Programa Piloto para la Resiliencia Climática. El BID por su parte tiene también importantes mecanismos de financiamiento como la Iniciativa Planet Banking y la Iniciativa de Energía Sostenible y Cambio Climático. Adicionalmente hay fondos multilaterales de gran importancia como el Fondo Mundial del Medio Ambiente el cual gestiona el Fondo para Países Menos Adelantados de la CMNUCC, el Fondo GEF y el Fondo Especial de Cambio Climático y el Programa de Pequeñas Donaciones. Otra fuente

importante de financiamiento multilateral se enmarca en el Programa ONU - REDD para deforestación y desertificación que administra PNUD.

A nivel de cooperación bilateral también existen importantes esfuerzos de naciones que de manera directa han ido construyendo sus fondos de financiamiento para la adaptación y mitigación al cambio climático en diversas áreas. Entre los más representativos destacan: la Iniciativa Internacional de Carbón Forestal de Australia, la Iniciativa Climática Internacional (IKI) de Alemania, el financiamiento de Rápido Inicio de Japón, la Iniciativa Internacional Climática y Forestal, el Fondo Climático Internacional de Reino Unido, el Fondo Francés para el Medio Ambiente Mundial, la Ventana Temática Medio Ambiente y Cambio Climático Española y la Alianza Clima y Desarrollo de Holanda y el Reino Unido. A todos estos pueden acceder los países individuales o como parte de las subregiones con base en propuestas específicas y tomando en cuenta los lineamientos de las diferentes fuentes de financiamiento.

Sin embargo, hay que resaltar que a nivel de LAC las acciones de política relacionadas con la mitigación y adaptación no se encuentran relacionadas o dirigidas mediante los mecanismos de integración regional (p.e., OEA, CELAC), sino a través de organismos especializados o mecanismos de integración subregional. Hasta el momento en el caso de LAC se ha visto que la mayoría de los financiamientos aprobados han estado dirigidos a la mitigación a nivel general o bien con enfoque REDD, y apenas un 11% de los recursos procuran promover proyectos de adaptación al cambio climático (Caravani et al, 2011). Por otro lado, los países grandes de la región son los que concentran la mayor recepción de financiamiento dirigido al cambio climático, pues entre México y Brasil aglutinaron alrededor del 55% del financiamiento de 2016 en esta área (Barnard et al, 2016).

## 5.5 OPORTUNIDADES PARA ESCALAR LAS INNOVACIONES

América Latina en general, y las cuatro subregiones en particular muestran comportamientos distintos en términos de la institucionalidad que las sustenta a nivel de integración, así como en cuanto a la prioridad del cambio climático en sus agendas y al cómo están abordando éste. En párrafos anteriores se han identificado las estructuras operativas que materializan los esfuerzos en cada sistema de integración regional y subregional, quedando en evidencia que hay más esfuerzos en términos de mitigación que de adaptación.

El análisis de la situación de variabilidad entre las diferentes subregiones deja claro que cualquier esfuerzo para promover que las instituciones tomen algunas de las innovaciones de adaptación al cambio climático que se proponen en el presente estudio para su aplicación amplia (“escalamiento”) exige mantener un enfoque diferenciado entre subregiones, así como en términos del tipo de escalabilidad que se persigue. Hay que reconocer que hay innovaciones con un mayor potencial de aplicación en unas subregiones más que en otras, así como dentro de una subregión, no todas son aplicables a todos los agroecosistemas, y esos detalles se presentan en las diferentes fichas técnicas que describen las innovaciones.

Cualquiera sea el contexto agroclimático propio de las subregiones, y de las zonas dentro de ellas, la escalabilidad va a requerir de:

- i. Apertura de los decisores de política y de los diferentes grupos de interés (“stakeholders”) para implementar los cambios;
- ii. Disponibilidad de recursos financieros para promover las iniciativas, como los que pueden estar disponibles para los NAPAs y NAMAs;
- iii. Existencia de un marco político institucional que permita la escalabilidad; y

- iv. Evidencia científica que sustente la relevancia de la escalabilidad.

### **5.5.1 Acciones apropiadas de mitigación a nivel nacional (NAMA<sup>20</sup>)**

La NAMA es un instrumento de política internacional proveniente de la Convención Marco de las Naciones Unidas para el Cambio Climático (CMNUCC) que articula las acciones nacionales apropiadas para la mitigación. La NAMA es muy flexible y puede definirse en dos contextos: (a) A Nivel Nacional, que es la presentación formal que hacen las partes para mitigar las emisiones de GEI de una manera que es conmensurable con su capacidad y de acuerdo con las metas nacionales de desarrollo; y (b) A Nivel de Acciones Individuales, que son acciones específicas o grupos de acciones diseñadas para ayudar a que un país logre alcanzar sus objetivos de mitigación, dentro del contexto de las metas nacionales de desarrollo. Por ello, las NAMAs pueden ser cualquier instrumento de política pública nacional, ya sean regulaciones, subvenciones, incentivos económicos y de generación de mercados entre otros, que permitan reducir las emisiones de GEI. Las NAMAs se establecieron como parte del Plan Bali que emergió de la COP<sup>21</sup> 13 celebrada en el 2007, y desde entonces se han aplicado de manera ampliada en muchos países, entre ellos algunos de América Latina y el Caribe. En la COP 16 celebrada en Cancún en el 2010 se creó un registro internacional con la finalidad que los países puedan obtener reconocimiento a sus iniciativas NAMA, así como para buscar el apoyo internacional en materia de financiamiento para el desarrollo de tecnologías y capacidades (UNFCCC. 2013).

Las NAMAs, además de ser adecuadas a cada país, deben ser medibles y verificables, y deben estar enmarcadas en el contexto del desarrollo sostenible (Mendieta, 2013). Según su fuente de financiamiento, las NAMAs pueden ser:

20. NAMA es la sigla comúnmente aceptada para referirse a las Acciones Apropriadas de Mitigación a Nivel Nacional, que proviene del término en inglés “Nationally Appropriate Mitigation Actions”

21. COP se refiere a las Conferencias de las Partes, con relación al Cambio Climático.



i. Unilaterales: Las NAMAs unilaterales son aquellas financiadas en su totalidad con recursos propios del país en el que se pretende implementar la acción. Estos recursos pueden venir de fuentes públicas o privadas o de una combinación de las dos. El registrar estas NAMAs permite reconocer el esfuerzo de aquellos países en desarrollo que voluntariamente se han embarcado en acciones de mitigación, y más adelante pueden ser las que constaten el avance de un país en desarrollo hacia su compromiso de mitigación.

ii. Con Apoyo: Las NAMAs apoyadas cuentan con apoyo internacional en lo financiero, técnico y/o en forma de construcción de capacidades. El apoyo puede venir de países desarrollados, fondos privados, fondos multilaterales o bancos de desarrollo.

iii. Acreditables: Las NAMAs acreditables son aquellas que generan ingresos por la venta de créditos de carbono asociados a la cantidad de emisiones reducidas. Aunque existe la visión que algunas de las NAMAs deben apuntarle a generar créditos para nuevos mercados de carbono, este mecanismo aún no ha sido acordado a nivel internacional por lo que todavía no existe un mercado global que garantice una demanda de este tipo.

Existen diferentes fondos de cooperación dirigidos a brindar apoyo para las estrategias de adaptación y mitigación al cambio climático en América Latina. Entre estas se encuentran: el Fondo Multilateral de Inversiones del Banco Interamericano de Desarrollo (BID-FOMIN), el Banco de Desarrollo para América Latina (CAF), y el Banco Centroamericano de Integración Económica (BCIE). Los donantes o canales financieros pueden comprender fondos bilaterales o multilaterales, así como el apoyo de países bajo la Convención Marco de las Naciones Unidas para el Cambio Climático (CMNUCC). Los fondos o donantes más importantes en este contexto son el Fondo para el Medio Ambiente Mundial (Global Environment Facility - GEF) y el Fondo Verde para el Clima (Green Climate Fund - GCF).

El tipo de financiamiento depende de la fase en la que se encuentra el proceso de la NAMA. En la etapa de idea, la NAMA se financia principalmente del presupuesto público nacional. Para la fase de concepto se busca adicionalmente a donantes (internacionales) que asistan con apoyo financiero. Finalmente, a partir de la fase de implementación y durante la primera fase de operación piloto de la NAMA y la fase posterior de escalamiento, se pueden incluir inversiones y créditos de bancos nacionales o internacionales, así como capital empresarial (Galante et al. 2014) (Figura 17).



**Figura 17.** Tipos de financiamientos posibles para las diferentes fases de la NAMA. (Modificado de: Galante et al. 2014).

Las fuentes públicas para financiar la fase inicial de un NAMA pueden ser muy diversas (Figura 17) pueden ser de deuda pública, impuestos, presupuesto nacional o ingresos de subastas.

Los principales donantes que están apoyando el desarrollo de NAMA a nivel global son (Galante et al 2014):

### Fondos multilaterales

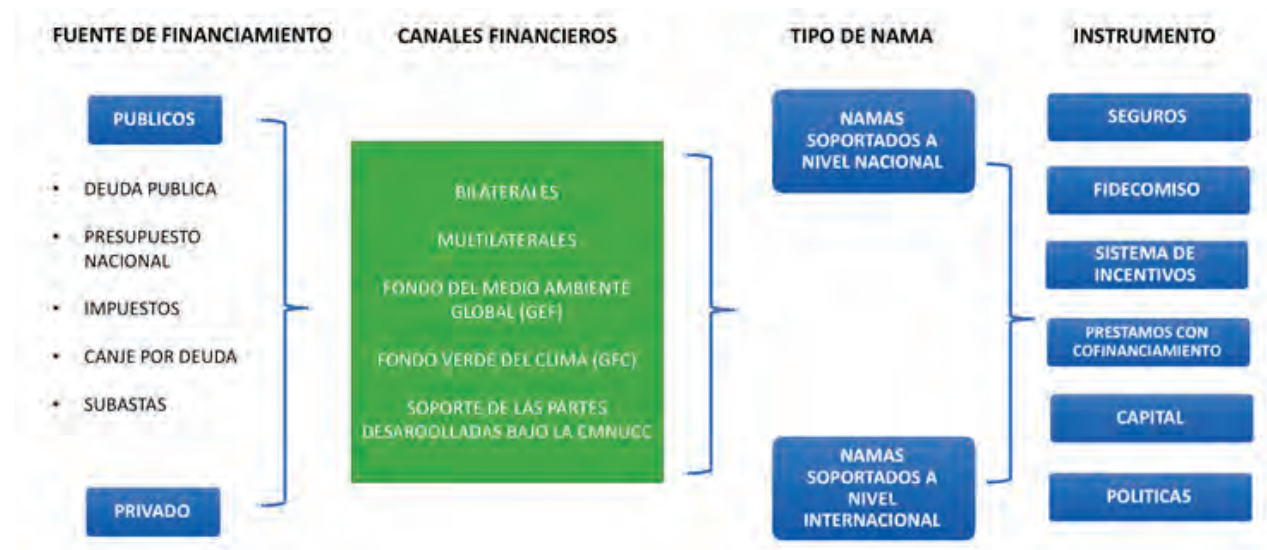
- i. Global Environment Facility (GEF)
- ii. Green Climate Fund (GCF)<sup>20</sup>
- iii. BID<sup>22</sup> Sustainable Energy and Climate Change Initiative (SECCI)
- iv. BID Infrastructure Fund (InfraFund)
- v. WB Clean Technology Fund

vi. WB<sup>23</sup> Public Private Infrastructure Advisory Facility (PPIAF)

vii. WB Carbon Finance Unit (CFU)

### Fondos bilaterales:

- i. EU Global Climate Change Alliance (GCCA)
- ii. Latin America Investment Facility (LAIF)
- iii. German International Climate Initiative (IKI)
- iv. German Climate Technology Initiative (DKTI)
- v. United Kingdom 's Department for Energy and Climate Change (DECC) Capital Markets Climate Initiative
- vi. German Development Bank (KfW)



**Figura 18.** Enfoques de las fuentes de financiación pública para la NAMA. (Modificado de: Galante et al. 2014.)

De acuerdo al registro de NAMAs, en LAC a la fecha se tienen 14 NAMAs registradas y cuatro en proceso, en diferentes etapas de implementación. Todas ellas están inscritas en la plataforma de la UNFCCC<sup>24</sup> (Cuadro 12).

22. Banco Inter-Americano de Desarrollo

23. Banco Mundial

24. Base de datos de nama: [http://www.nama-database.org/index.php/Main\\_Page](http://www.nama-database.org/index.php/Main_Page)

**Cuadro 12. Listado de NAMAS del sector agropecuario en América Latina y el Caribe.**

País	NAMA	Objetivo	Estado
<b>Brasil</b>	Programa de Eficiencia de Uso de Recursos para la Cadena de Abastecimiento de Carne	Abordar las principales barreras técnicas y financieras que impiden que las mejores prácticas se implementen a escala, ofreciendo a la cadena de suministro un conjunto integrado de medidas.	Fase de preparación
<b>Chile</b>	Energías Renovables para Autoconsumo	Promoción e incorporación de sistemas de energías renovables en pequeñas y medianas empresas abordando las barreras relevantes; y creando condiciones financieras y técnicas adecuadas para el desarrollo de la industria. Además, busca fomentar los conocimientos y sensibilizar sobre las ventajas de generación de energías renovables para el autoconsumo, con el fin de tener desarrolladores de proyectos mejor calificados.	Implementación
<b>Chile</b>	NAMA agrícola	Proponer normas técnicas de manejo de suelos que permitan cuantificar el aporte de cada productor a la captura de carbono atmosférico. Además, incorporar las mediciones de captura de carbono, en el Sistema de Incentivos para la Sustentabilidad Agroambiental de los Suelos Agropecuarios (SIRSD-S)	Implementación
<b>Colombia</b>	Reconversión productiva y tecnológica del sector Panela de Colombia	La NAMA busca implementar estrategias para reducir los GEI y los contaminantes en todo el sector de panela, centrándose en tres áreas tecnológicas principales: procesos de cultivo, modernización tecnológica de fábricas y uso de subproductos.	En preparación
<b>Colombia</b>	Ganadería Bovina Sostenible	Disminuir las emisiones de GEI generadas en la producción ganadera e incrementar los sumideros de carbono de los agroecosistemas de pastoreo, a través de un sistema de gestión ambiental y productiva a nivel regional, promoviendo la conservación y / o restauración de ecosistemas naturales, alentando paisajes productivos sostenibles a través de la armonización de las diferentes herramientas de políticas públicas.	en desarrollo
<b>Colombia</b>	Ganadería Bovina Sostenible	Disminuir las emisiones de GEI generadas en la producción ganadera e incrementar los sumideros de carbono de los agroecosistemas de pastoreo, a través de un sistema de gestión ambiental y productiva a nivel regional, promoviendo la conservación y / o restauración de ecosistemas naturales, alentando paisajes productivos sostenibles a través de la armonización de las diferentes herramientas de políticas públicas.	en desarrollo

<b>Colombia</b>	NAMA café de Colombia	<p>Desarrollar e implementar estrategias para la mitigación de GEI generados en la etapa de producción, cosecha y postcosecha en fincas de café , con el fin de alcanzar el objetivo de mitigación propuesto. Se plantea el desarrollo de las siguientes actividades:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Utilización eficiente de fertilizantes nitrogenados</li> <li>2. Implementación de sistemas agroforestales en los predios donde se cultiva el café .</li> <li>3. Optimización de prácticas en el proceso de postcosecha del café</li> <li>4. Mejorar la infraestructura de saneamiento básico en las fincas cafetera</li> </ol>	Fase de preparación
<b>Costa Rica</b>	NAMA de café bajo en carbono de Costa Rica	Reducir las emisiones de GEI y mejorar la eficiencia en el uso de los recursos tanto a nivel de plantaciones de café como de beneficios de café.	Implementación
<b>Costa Rica</b>	Sector Ganadero Eco-competitivo-Estrategia de Desarrollo Ganadero Bajo en Carbono	<p>Los productores ganaderos logren mayor productividad y rentabilidad en el negocio ganadero y que al hacerlo generen menos emisiones de GEI por unidad de producto y logren más secuestro de carbono por unidad de área y en total.</p> <p>Esto supone una mayor eficiencia en el uso de la tierra, lograr mayor productividad de los animales y de los demás factores de producción; para producir más volumen de carne (peso de ganado en pie) y leche, ambos con mejor calidad y estabilidad a lo largo del año, e incrementar el secuestro de dióxido de carbono como resultado del manejo de la finca.</p>	Fase de preparación
<b>Cuba</b>	Reducir las emisiones de gases de efecto invernadero en la producción porcina cubana	Reducir las emisiones de GEI en la producción porcina cubana a través de la promoción de tecnologías para la captura y el uso del biogás para generación de calor y electricidad, obteniendo como resultado del tratamiento de aguas residuales porcinas.	Fase de preparación
<b>Honduras</b>	NAMA Ganadería sostenible	Facilitar un cambio hacia prácticas alternativas de ganadería en Honduras, a fin de aumentar la productividad, reducir las emisiones de GEI y contribuir a las necesidades de adaptación al cambio climático.	Fase de preparación No registrado
<b>Honduras</b>	NAMA de Café Sostenible	Contribuir a la protección y el manejo racional de los recursos naturales, mediante el fomento de sistemas agroforestales en los cafetales. Estas prácticas contribuirán a un aumento en la fijación de carbono en la biomasa aérea, una mayor disponibilidad de fuentes de agua, la satisfacción de las necesidades energéticas y alimenticias de los agricultores, la diversificación de sus fuentes de ingresos, la protección de los suelos, y la reducción de la degradación por la demanda de leña.	Fase de preparación No registrado

<b>Nicaragua</b>	Estrategia de ganadería sostenible con bajas emisiones	Mejorar la rentabilidad de la ganadería mediante la adopción de buenas prácticas ganaderas y sistemas silvopastoriles para mejorar la competitividad de las fincas ganaderas y mejorar la calidad de carne y leche	Fase de preparación
<b>Panamá</b>	NAMA ganadería	Fomento de prácticas alternativas de ganadería, con el fin de aumentar la productividad, reducir las emisiones de GEI y contribuir a las necesidades de adaptación al cambio climático.	Fase de preparación
<b>Panamá</b>	NAMA porcina	Reducción de la emisión de GEI; eliminación de la contaminación de suelos y fuentes de agua por porcina; disminución de problemas sanitarios y eliminación de los patógenos que causan enfermedades tanto a los cerdos como a los seres humanos; y disminución de malos olores en las explotaciones porcinas.	Fase de preparación
<b>Perú</b>	NAMA de conversión de residuos en energía en el sector agrícola	Aumentar las actividades de conversión de residuos del sector agrícola en energía. La pieza central de la NAMA es un mecanismo de financiación que facilita el acceso de agricultores y agroindustrias al capital para ayudar a cubrir los costos de inversión para las tecnologías y el establecimiento y mantenimiento de infraestructura para generación de energía.	Fase de preparación
<b>República Dominicana</b>	NAMA porcino	Reducir las emisiones de GEI a través de la digestión anaeróbica de los residuos de granjas porcinas.	Fase de preparación
<b>República Dominicana</b>	Café bajo en carbono en República Dominicana	Reducir las emisiones de GEI en el sector cafetero, mediante la reducción en el uso de fertilizantes nitrogenados y emisiones de N <sub>2</sub> O, evitar el metano mediante un tratamiento mejorado y la reutilización de las aguas residuales en las fábricas mejor uso y manejo de la biomasa como fuente de energía en lugar de madera captura de carbono mediante la difusión de sistemas agroforestales	en desarrollo
<b>Uruguay</b>	Producción sostenible con tecnologías bajas en emisiones en la agricultura y las cadenas productivas de la agroindustria	i. Fortalecer el marco de políticas para la producción sostenible e implementar tecnologías de bajas emisiones en la actividad agropecuaria; potenciar	Fase de preparación No registrado

### 5.5.2 Planes nacionales de adaptación (NAP<sup>25</sup>)

Varios países en LAC han mostrado un desarrollo institucional y de políticas públicas importante para atender el desafío del cambio climático, donde es común que las estrategias para contrarrestar los impactos del cambio climático sobre las actividades humanas estén expresadas en planes o programas de cambio climático, basados en las prioridades y vulnerabilidad de los principales sectores de cada país (Cuadro 13). Entre los sectores priorizados en la región respecto a las estrategias de adaptación están los sectores de infraestructura, hídrico, asentamientos humanos, agricultura, biodiversidad, salud y energía. Estas estrategias están orientadas principalmente a atender casos

de emergencia ambiental y climática, y a sentar las bases para una mayor resiliencia ante las variaciones climáticas y los eventos extremos. Para que el sector agropecuario de LAC enfrente la adaptación al CC se destacan diferentes instrumentos de políticas, en los que se brinda importancia a la conservación del agua, se hace énfasis en la conservación del capital natural, y en el desarrollo sostenible de sector agropecuario. Esta respuesta es consecuencia de los cambios observados y esperados en la variabilidad climática, así como la modificación en los usos del suelo y paisajes en LAC. Todo esto supone tomar acciones que garanticen la seguridad de la población y sus bienes, incluyendo los ecosistemas y sus servicios (Magrin 2015).

**Cuadro 13. Estrategias de política pública sobre cambio climático en LAC (Modificado Sánchez & Reyes 2015)**

País	Estrategias
<b>Argentina</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 2ª Fase de Elaboración de la Estrategia Nacional de Cambio Climático (2013).</li> <li>• Manual de Vulnerabilidad y Adaptación al Cambio Climático para la Gestión y Planificación Local (2011).</li> </ul>
<b>Bolivia</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Estrategia Nacional de Bosque y Cambio Climático (2009).</li> <li>• Mecanismo Nacional de Adaptación al Cambio Climático (2007).</li> </ul>
<b>Brasil</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Plan Nacional sobre Cambio Climático (2008).</li> </ul>
<b>Chile</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Plan de Acción Nacional de Cambio Climático: 2008-2012</li> <li>• Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático (2014).</li> </ul>
<b>Colombia</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático (2012).</li> </ul>
<b>Costa Rica</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Estrategia Nacional de Cambio Climático (2009).</li> </ul>
<b>Ecuador</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Estrategia Nacional de Cambio Climático del Ecuador 2012-2025 (2012).</li> </ul>
<b>El Salvador</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Estrategia Nacional de Cambio Climático (2013).</li> </ul>
<b>Guatemala</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Política Nacional de Cambio Climático (2009 y 2014).</li> <li>• Ley Marco para Regular la Reducción de la Vulnerabilidad, la Adaptación Obligatoria ante los Efectos del Cambio Climático y la Mitigación de Gases de Efecto Invernadero (2014).</li> </ul>
<b>Honduras</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Estrategia Nacional de Cambio Climático (2011).</li> </ul>
<b>México</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Estrategia Nacional de Cambio Climático. Visión 10-20-40 (2013)</li> </ul>
<b>Nicaragua</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Estrategia Nacional Ambiental y del Cambio Climático. Plan de Acción 2010-2015 (2010)</li> </ul>
<b>Panamá</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Plan de acción para la implementación de la Política Nacional de Cambio Climático (2011).</li> </ul>

25. NAP es la sigla comúnmente aceptada para referirse a los Planes Nacionales de Adaptación, que proviene del término en inglés "National Adaptation Plans"

<b>Paraguay</b>	• Política Nacional de Cambio Climático (2012).
<b>Perú</b>	• Estrategia Nacional frente al Cambio Climático (2014).
<b>República Dominicana</b>	• Lineamientos para la Estrategia Nacional de Cambio Climático (2008) Plan de Acción Nacional de Adaptación (2008).
<b>Uruguay</b>	• Plan Nacional de Respuesta al Cambio Climático (2010).
<b>Venezuela</b>	• Primera Comunicación Nacional en Cambio Climático de Venezuela (2005).

Para identificar las necesidades y opciones de adaptación al cambio climático y construir capacidades para su implementación es preciso contar con información apropiada sobre el riesgo y la vulnerabilidad a dicho cambio. Las necesidades de adaptación pueden clasificarse en cinco categorías (Noble et al., 2014; Magrin, 2015):

**i. Necesidades físicas y ambientales.** Estas surgen en respuesta a las alteraciones observadas y proyectadas en los sistemas ecológicos, la biodiversidad, los recursos genéticos y los servicios ecosistémicos. Estos cambios se orientan a mantener los servicios ecosistémicos relevantes para el ser humano: aprovisionamiento (alimentos, fibras, suministro de agua potable), regulación (regulación del clima, polinización, control de enfermedades, control de inundaciones), y apoyo (producción primaria y ciclo de nutrientes).

**ii. Necesidades sociales.** La vulnerabilidad a los impactos del cambio climático depende en gran medida de la capacidad humana para reducirlos o manejarlos. En ese sentido, la pobreza y la desigualdad persistente son las causas más destacadas de la vulnerabilidad, y son estas características comunes en LAC. Como referencia, los niveles de pobreza al año 2010 fueron del 45 y 30%, para Centroamérica y América del Sur, respectivamente, siendo más elevados en las zonas rurales.

**iii. Necesidades institucionales.** las instituciones ofrecen un entorno propicio para implementar acciones de adaptación, dado que

pueden crear incentivos, fomentar el desarrollo de la capacidad adaptativa y establecer protocolos, entre otros. Pero el logro de esto requiere contar con instituciones capaces de identificar y desarrollar acciones de innovación social, institucional y tecnológica que ayuden a hacer los sistemas más resilientes al cambio climático. Sin embargo, el accionar de las instituciones puede verse limitado por la falta de capacidades humanas, tecnológicas y financieras; la falta de poder para desarrollar y hacer cumplir las normas; la no priorización del tema climático porque se considera existen otras necesidades de mayor urgencia; y la falta de coordinación inter- e intrainstitucional.

**iv. Necesidad de involucrar al sector privado.** El sector privado es un eslabón importante para la adaptación al cambio climático, pero hasta el momento su participación ha sido muy limitada debido en parte a dudas sobre la magnitud de la amenaza y las oportunidades para sus empresas, pero también a la falta de orientación y acción de los gobiernos.

**v. Necesidades de información, capacitación y recursos.** Estos rubros son factores determinantes para la implementación de medidas de adaptación la investigación y el desarrollo, el conocimiento científico y local, la adaptación del conocimiento al contexto local, y la transferencia de tecnologías y conocimiento constituyen necesidades prioritarias para la adaptación. La disponibilidad de recursos financieros es otra necesidad imperiosa que no está cubierta en los países de América Latina y el Caribe.

En LAC se han venido desarrollando diferentes alternativas de estrategias de adaptación, para reducir la vulnerabilidad frente al cambio climático. En el caso del sector agropecuario, se han formulado propuestas para el manejo sostenible de los ecosistemas, de manera que se mantenga la provisión de servicios ecosistémicos que ayuden en la adaptación a la variabilidad y al cambio climático. Entre ellas se incluyen las innovaciones propuestas en la sección 3.3 del presente informe, y que se describen en mayor detalle como fichas técnicas en el Anexo 3.

En párrafos siguientes se presentan algunos proyectos orientados a promover la adaptación al cambio climático que se desarrollan en la región:

i. Proyecto CASCADA<sup>26</sup>. Este proyecto se enfoca en la adaptación al cambio climático mediante el manejo de los ecosistemas en fincas de pequeños agricultores en América Central que son de subsistencia o de producción de café. El proyecto reconoce que estas fincas son particularmente vulnerables a los impactos del cambio climático debido a que sus medios de vida dependen en gran medida de la actividad agropecuaria, pero tienen limitaciones de recursos y capacidades para enfrentar o amortiguar los impactos negativos externos. El proyecto también reconoce la necesidad de mejorar la productividad y resiliencia de los sistemas productivos de los pequeños agricultores, como estrategia para reducir la pobreza y que ellos alcancen la seguridad alimentaria. Se espera que los resultados del proyecto contribuyan a la adaptación al cambio climático, así como al desarrollo económico, social y ambiental en Costa Rica, Honduras y Guatemala, que son los países donde opera el proyecto.

ii. Proyecto EcoAdapt<sup>27</sup>. Este proyecto es una iniciativa de investigación-acción que se lleva a cabo en tres bosques modelo —el de Jujuy en Argentina; Chiquitano en Bolivia y Araucarias de Alto Malleco en Chile—. El proyecto procura incidir en procesos de gestión del agua como

una manera de contribuir al desarrollo local y la reducción de la vulnerabilidad de las poblaciones al cambio climático. El proyecto se basa en el fortalecimiento de capacidades, el intercambio de conocimientos, la prevención y atenuación de conflictos, y la promoción del trabajo conjunto con actores claves a nivel local y nacional. El proyecto ha facilitado la integración de los conocimientos local y científico mediante un proceso iterativo de intercambio constante entre las comunidades presentes en los bosques modelos y el grupo de investigadores participantes, y de esta manera ha contribuido a promover el empoderamiento, apropiación y compromiso de los actores locales. Debe reconocerse que el tema hídrico es aglutinador y tiene la capacidad de fomentar intereses transversales (actores, sectores).

iii. REGATTA. El Portal Regional para la Transferencia de Tecnología y la Acción frente al Cambio Climático (REGATTA), considera los servicios ecosistémicos como una opción de adaptación, debido al creciente interés de implementar la adaptación basada en principios agroecológicos. Actualmente existen cuatro proyectos subregionales bajo REGATTA: Centroamérica (Guatemala, El Salvador, Honduras, Nicaragua, Costa Rica y Panamá); el Caribe (Antigua y Barbuda, Dominica y Haití); los Andes (Colombia, Ecuador y Perú); y el Gran Chaco Americano (Argentina, Bolivia y Paraguay). Una de las lecciones aprendidas por el trabajo en Centroamérica es que la diferencia en la capacidad adaptativa de diversos grupos dentro de cada país depende de la diversificación de la producción, la satisfacción de las necesidades básicas y el acceso a recursos para la innovación (Bouroncle et al., 2014). En otras regiones se destaca la importancia de incluir las determinantes no-climáticas de la vulnerabilidad de los medios de vida y las comunidades que se benefician de los servicios ecosistémicos en las cuencas hidrográficas, como pueden ser aquellos que se relacionan con la salud humana (Hogarth et al., 2014). Mientras que en el Gran Chaco se observa una preferencia por medidas como agricultura

26. <https://www.conservation.org/projects/Pages/sobre-cascada.aspx>

27. <http://www.ecoadapt.eu>



conservacionista, sistemas agroforestales y silvopastoriles, y cosecha del agua como parte de las medidas de adaptación (Magrin 2015).

se han implementado una serie de proyectos en el área de Desarrollo Sostenible, Cambio Global y Ecosistemas (Cuadro 14).

Por otro lado, con el Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo (CYTED),

**Cuadro 14. Proyectos CYTED: desarrollo sostenible, cambio global y ecosistemas (Modificado de Magrin 2015 y [http://www.cytcd.org/es/1%2Bd\\_redes](http://www.cytcd.org/es/1%2Bd_redes))**

Programa	Objetivo	Países
<b>Red Iberoamericana de Bio-economía y Cambio Climático (REBICAMCLI)</b>	Modelizar los impactos del cambio climático sobre la producción de alimentos y proponer medidas de adaptación que incrementen la seguridad alimentaria local, regional y mundial.	Colombia, Costa Rica, Cuba, España, Honduras, México.
<b>Vulnerabilidad, Servicios Ecosistémicos y Planeamiento del Territorio Rural (VESPLAN)</b>	Contribuir al intercambio y discusión de experiencias sobre la evaluación integral de servicios ecosistémicos relevantes para los países miembros, incluyendo su cuantificación, modelado, valoración y mapeo, y de la vulnerabilidad de los sistemas socioambientales frente a la pérdida de servicios ecosistémicos.	Argentina, Brasil, Chile, Colombia, España, Guatemala, México, Paraguay
<b>Sustentabilidad y Resiliencia de Sistemas Humanos y Naturales acoplados en casos relevantes de América del Sur (CHANS- AMÉRICA DEL SUR)</b>	Desarrollar el conocimiento científico de los mecanismos implicados en los sistemas naturales y humanos acoplados que condicionan la sustentabilidad a largo plazo de los servicios ecosistémicos.	Argentina, Bolivia, Brasil, Canadá , Chile, España, EEUU, Países Bajos, Suecia, Uruguay
<b>Desarrollo de Metodologías, Indicadores Ambientales y Programas para la Evaluación Ambiental Integral y la Restauración de Ecosistemas Degradados (RESECODE)</b>	Desarrollar herramientas metodológicas novedosas, experiencias innovadoras de gestión ambiental y conocimientos científicos relevantes para la evaluación integral, el monitoreo y la restauración de ecosistemas degradados; homogeneizar el nivel de conocimientos de los ecosistemas degradados y uniformar criterios de evaluación y análisis a fin de facilitar la comparación entre ecosistemas funcionalmente diferentes; transferir al sector productivo los resultados obtenidos, órganos de gestión, gobiernos y organismos regionales, con el fin de perfeccionar las políticas, estrategias, metodológicas y programas dirigidos al mejoramiento y uso sustentable de los bienes y servicios que brindan estos ecosistemas a los sistemas humanos.	Argentina, Brasil, Chile, Colombia, Costa Rica, Cuba, Ecuador, España, Guatemala, Panamá , Portugal, Uruguay, Venezuela
<b>Red Iberoamericana de Agroecología para el Desarrollo de Sistemas Agrícolas Resilientes al Cambio Climático (REDAGRES)</b>	Promover el intercambio de conocimientos científicos sobre agroecología, cambio climático y resiliencia, de manera de capacitar una masa crítica de profesionales y técnicos, abrir líneas de investigación y extensión en la temática a nivel de institutos de investigación y Universidades. A través de los vínculos de SOCLA y SEAE con redes de ONGs (MAELA), organizaciones rurales (Vía Campesina), se ideará un proceso para escalar a nivel de comunidades agrícolas y campesinas, sistemas agrícolas con características de resiliencia a sequías, huracanes y otros eventos extremos.	Argentina, Brasil, Chile, Colombia, Cuba, España, México, Perú

<b>Red de Adaptación al Cambio Climático (RACC)</b>	Compartir esfuerzos y experiencias de adaptación al cambio climático que contribuyen al entendimiento y manejo de los ecosistemas como una estrategia de adaptación al cambio climático en la región latinoamericana, especialmente sensible a los efectos del cambio global.	Argentina, Chile, Colombia, Nicaragua, Panamá, Perú.
<b>Aprovechamiento de Subproductos Lácteos y Fruti-hortícolas y Valorización de Recursos Autóctonos para la Producción de Alimentos Funcionales, Promoviendo el Desarrollo de Zonas Económicamente Vulnerables. (LACFUN)</b>	Brindar las herramientas que permitan la recuperación de principios bioactivos y la utilización integral de residuos provenientes de establecimientos rurales productoras de lácteos y fruti-hortícolas, y de esa manera contribuir al desarrollo sustentable de las comunidades involucradas en esos procesos.	Argentina, Bolivia (Estado Plurinacional de), Brasil, Canadá, Chile, España, México, Uruguay
<b>Intensificación de la producción con manejo sostenible de los cultivos extensivos (MASCEX)</b>	Fortalecer la interacción entre grupos de profesionales de Argentina, Chile, España, Honduras y Uruguay y con el medio productivo sobre las bases fisiológicas para de la generación del rendimiento y la eficiencia de uso de los recursos (agua, nutrientes, radiación) para la intensificación y sostenibilidad de los cultivos extensivos (principalmente trigo, papa, cebada, maíz, soya, quinua y canola) para hacer frente a los tres paradigmas en los que se desarrolla la agricultura: (i) el aumento de la producción y la calidad, mejorando simultáneamente (ii) la sostenibilidad de los sistemas de producción y (iii) la adaptación al cambio climático.	Argentina, Chile, España, Honduras, Perú, Uruguay

A pesar de que existen en la región diferentes iniciativas para fomentar el proceso de adaptación al cambio climático, todavía existen grandes desafíos sobre los cuales hay que seguir trabajando como es la conservación de suelo, la seguridad alimentaria y el manejo sostenible del agua. Con respecto a este último, el reto es asegurar el aprovisionamiento del sector agropecuario y de las comunidades rurales, pues ya existen conflictos a nivel de accesibilidad y contaminación de cuerpos de agua, que traen consigo problemas ambientales y de salubridad humana y animal.

## 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### Retos que enfrenta la Agricultura ante el Cambio Climático

1. En los próximos 40 años, la producción agrícola en LAC necesita crecer a una tasa más acelerada que el crecimiento de la población para responder al aumento en la demanda de alimentos y asegurar que los sectores menos favorecidos de la sociedad superen los problemas de deficiencia energético-proteica en su dieta. El reto es

cómo lograr esta meta sin afectar la base de recursos naturales y contrarrestando los impactos del cambio climático.

2. El incremento en la oferta de alimentos en LAC deben ser producto de la intensificación de los sistemas de producción en las áreas actualmente en uso que poseen un potencial productivo adecuado, así como en aquellas que han sido rehabilitadas, antes que en la incorporación de nuevas áreas resultantes

de la deforestación o de la transformación de áreas actualmente bajo vegetación nativa. Sin embargo, la disponibilidad de estas áreas y el potencial productivo de las mismas varía con las regiones, por lo que las estrategias de uso variarán con las condiciones de sitio y el nivel de adopción de tecnologías que permitan al menos mantener la producción agropecuaria.

3. Los volúmenes de agua disponibles en LAC son suficientes, pero con una distribución desigual entre regiones y a lo largo del año. Los déficits hídricos estacionales se exacerbarán como consecuencia del cambio climático, la deforestación y el uso inadecuado del suelo.

4. La degradación de suelos es problema en el 14% de la superficie de LAC, pero su importancia relativa varía con las regiones, es mayor en Mesoamérica y el Caribe, mientras que en el Cono Sur hay áreas importantes con suelos de aptitud alta. Sin embargo, el uso de prácticas de labranza inadecuadas contribuye a la degradación de suelos, y el problema es más agudo en el caso de los agricultores pobres, quienes tienen típicamente un acceso limitado a tierras menos vulnerables a la degradación, así como a los insumos de producción (agua, insumos y tecnología).

5. El cambio climático se está manifestando a nivel global con incrementos en la temperatura ambiente de 0.85°C entre 1880 y 2012, pero se espera estos lleguen hasta 3 - 4°C a finales de este siglo. En cuanto a la precipitación, se prevé una alta probabilidad y mayor frecuencia e intensidad de eventos de precipitación extrema en las regiones tropicales y el Sureste de Sur América, y en el alargamiento del período seco en la mayor parte de LAC. Además, ha aumentado la frecuencia de actividades ciclónicas, con impactos negativos importantes sobre la producción agropecuaria y la infraestructura. Todas estas manifestaciones del cambio climático van a afectar cada vez más la productividad

agrícola y el bienestar de la población, a no ser que se tomen medidas de mitigación y de adaptación para incrementar la resiliencia.

6. La vulnerabilidad de los cultivos agrícolas al cambio climático varía con las especies. Los análisis realizados en este estudio evidencian que el arroz, banano, cacao, café, caña de azúcar, maíz y soya, no van a presentar cambios marcados en las áreas totales aptas para su cultivo, incluso bajo los escenarios extremos de cambio climático esperados hasta el 2050; sin embargo, esta información a nivel regional no revela conflictos potenciales a nivel local por el abandono de un cultivo en una zona y la expansión potencial en otra. En cambio, el frijol, papa, tomate y trigo son los cultivos más vulnerables pues verán seriamente disminuidas las áreas donde pueden crecer bien; y hay un tercer grupo de especies como la piña y el sorgo que encontrarán condiciones favorables para incrementar sus áreas de cultivo.

7. En el caso de las forrajeras analizadas, las proyecciones indican que las gramíneas tropicales (p.e. *B. brizantha*), la alfalfa (*M. sativa*) y el trébol blanco (*T. repens*), probablemente no van a presentar cambios marcados en las áreas totales aptas para su cultivo; en cambio el área apta para el cultivo de maní forrajero (*A. pintoi*) y ryegrass (*L. perenne*) y puede disminuir hasta en 15 y 27%, respectivamente.

8. El aumento de temperatura asociado al cambio climático está incidiendo en la distribución geográfica, en el crecimiento de las poblaciones de plagas y de algunos vectores, así como en la intensificación de algunas enfermedades ya existentes, o en otras denominadas “emergentes”, tanto en plantas como en animales, y varias de estas últimas son zoonosis. En cambio, se conoce muy poco respecto a los efectos sobre las poblaciones de organismos benéficos que pueden ser aliados en el control de enfermedades.

## **Disponibilidad de Innovaciones para Reducir la Vulnerabilidad al Cambio Climático**

9. Se han identificado, priorizado y descrito 23 innovaciones que pueden ayudar a reducir la vulnerabilidad al cambio climático en los sistemas de producción agrícola y pecuaria en LAC, con énfasis en aquellos que pueden ser adoptados en la agricultura familiar. Las innovaciones propuestas cubren opciones asociadas a la eficiencia en la captura y uso del agua, la conservación y manejo de la fertilidad de suelos, el establecimiento de condiciones micro-climáticas favorables, el uso apropiado de la diversidad genética de plantas y animales, el manejo racional de los recursos alimenticios para el ganado, y el manejo integrado de excretas y residuos de cultivos.

## **Condiciones Habilitadoras para una Producción Agropecuaria Resiliente al Cambio Climático**

10. Todos los países en LAC cuentan con un sistema de innovación (investigación, extensión y asistencia técnica) en el sector agropecuario, pero existen diferencias importantes entre países en cuanto al nivel de desarrollo, cobertura, difusión de resultados y disponibilidad de recursos en las instituciones del sector, así como en el grado de ajuste en sus enfoques de trabajo para considerar la incertidumbre, la imprevisibilidad y la falta de control que caracteriza a la producción agropecuaria sujeta al cambio climático.

11. La investigación agropecuaria asociada al cambio climático en LAC ha prestado más atención a la mitigación que a la adaptación, y poca a la sinergia entre ambos. Así mismo, se puede observar que hay una mayor interacción entre los sistemas nacionales de innovación con los centros internacionales del CGIAR e instituciones extracontinentales que acciones de cooperación intrarregional.

12. Los servicios de extensión y de asistencia técnica agropecuaria en muchos países de LAC han sido descentralizados o tercerizados, pero en varios casos sin la efectividad deseada. Es evidente que no puede haber un modelo único de extensión, pues la realidad productiva y los sistemas políticos varían entre y dentro de países, pero en todos ellos debe considerarse el cómo hacer que la agricultura familiar sea viable, con suficientes niveles de productividad, competitiva y resiliente al cambio climático.

13. Las plataformas de innovación constituyen un mecanismo promisorio para lograr cambios en los paradigmas de investigación para el desarrollo, ya que son escenarios donde los diferentes grupos de interés dialogan abiertamente, buscan soluciones a los problemas comunes, e identifican los vacíos de información, lo cual va a guiar la investigación, extensión, asistencia técnica y la definición de políticas sectoriales de interés común.

14. Existen mecanismos de financiamiento específicos para promover la implementación de sistemas más resilientes al cambio climático como son los créditos verdes, pero también incentivos como la certificación para acceder a mercados diferenciados (p.e. orgánico, ecológico, comercio justo), así como el pago por servicios ecosistémicos. Todos ellos pueden ayudar a incentivar la adopción de estrategias de adaptación/mitigación del cambio climático.

## **Institucionalidad y Políticas para la Adaptación al Cambio Climático**

15. El tema de cambio climático está en las agendas organismos regionales tales como la Organización de Estados Americanos (OEA) y la Comunidad de Estados Latinoamericanos y del Caribe (CELAC). La OEA lo aborda en términos de

vulnerabilidad climática y gestión de riesgo, la seguridad alimentaria y migraciones, y la CELAC ha propuesto un Plan de Acción a nivel continental para enfrentar el cambio climático. Sin embargo, como este plan es producto de las reuniones de los Ministros de Ambiente, hace más énfasis en el tema vulnerabilidad, antes que en la adaptación de los sistemas agropecuarios al cambio climático.

16. A nivel subregional, el SICA (Centro América), CARICOM (Caribe) y los países del Sur (UNASUR) muestran una mayor integración que el CAN (Comunidad Andina de Naciones), y los tres primeros han sido más activos en el planteamiento de acciones relacionadas al cambio climático. Sin embargo, la mayor parte de acciones han estado enfocadas en la mitigación a nivel general o bien con enfoque REDD, y apenas un 11% de los recursos se han dirigido a promover proyectos de adaptación al cambio climático.

17. La mayoría de los países en LAC han generado políticas orientadas a fomentar el desarrollo sostenible, sin embargo, hacen falta recursos financieros y técnicos para que éstas se traduzcan en acciones que ayuden a mejorar la productividad y rentabilidad de las fincas de productores medianos y pequeños. Esto se hace más urgente cuando se consideran los escenarios de cambio climático.

18. Existen diferentes mecanismos de financiamiento para la implementación de políticas relacionadas al cambio climático como son las Acciones Apropriadas de Mitigación (NAMA) y los Planes Nacionales de Adaptación (NAPs). Algunos son de tipo multilateral, tales como el Global Environmental Facility (GEF), Green Climate Fund (GCF), World Bank Clean Technology Fund (WB-CTF) y BID Sustainable Energy and Climate Change Initiative (SECCI).

También los hay de tipo bilateral, tales como el EU Global Climate Change Alliance (GCCA), German International Climate Initiative (IKI) y Latin America Investment Facility (LAIF).

## Recomendaciones

1. Ampliar el análisis de las áreas potencialmente disponibles para los diferentes cultivos, limitado en el presente estudio a las proyecciones de cambios de temperatura y humedad en el modelo ECOCROP, a un análisis que contemple además los factores de fertilidad de suelo y la disponibilidad de tierras aptas para cambios de uso.
2. Evaluar, a nivel de cada país o subregión, qué opciones reales existen para el desplazamiento de áreas de producción de un determinado cultivo desde zonas cada vez más marginales bajo las condiciones de cambio climático hacia otras que ofrecen mejores condiciones. Este es un tema clave y urgente en el caso del café y cacao, pero cada vez tomará más relevancia para muchos otros cultivos y sistemas de producción animal.
3. Analizar el potencial, en los diferentes países o regiones, para fomentar la conservación y reproducción masiva de organismos benéficos que actúan como polinizadores, parasitoides, insectos que ayudan en el control benéfico de plagas y enfermedades, así como los microorganismos benéficos y plantas de acción medicinal. Considerar además qué iniciativas e instituciones existentes en cada país podrían contribuir a este reto. Así mismo, analizar qué opciones de inversión pública/privada existen que pueden trabajar sobre estas opciones, como una forma de lograr la transición a sistemas más agroecológicos y menos dependientes de agroquímicos tóxicos.
4. Recopilar experiencias positivas de programas nacionales y regionales de

control biológico y manejo integrado de plagas y enfermedades, del uso y conservación de recursos genéticos de plantas y animales adaptados, para con base en ello elaborar programas nacionales o regionales que permitan reforzar la adopción de prácticas agroecológicas como complemento o alternativa al uso de agroquímicos. Ventajosamente, existen experiencias de proyectos (p.e. MIP/NORAD en Centroamérica, “Bioplaguicidas” GTZ-CATIE), e incluso iniciativas nacionales exitosas (p.e. el sistema de agricultura urbana/periurbana en Cuba), que ha logrado una producción amigable con el ambiente, así como la intensificación agroecológica de los sistemas de agricultura familiar uniendo diversas prácticas agrícolas de manera sinérgica. Sin embargo, esta información está dispersa y necesita ser recopilada y evaluada en forma sistemática.

5. Expandir la información contenida en las fichas técnicas en las siguientes dimensiones: aplicabilidad para diferentes usuarios (grandes, medianos, pequeños), potencial de adopción, viabilidad económica bajo escenarios específicos, insumos requeridos, y un análisis más profundo de experiencias exitosas en las diferentes regiones de LAC.

6. Es urgente hacer esfuerzos en educación y difusión del conocimiento sobre el tema de la adaptación al cambio climático, pues esto se ha constituido en una barrera para reducir los impactos del cambio y la variabilidad climática, así como para desarrollar mecanismos que contribuyan a reducir los riesgos asociados con los eventos meteorológicos extremos. Este

esfuerzo debe ir desde el nivel de educación primaria básica hasta la universitaria de pre- y posgrado, y de refrescamiento de los profesionales en ejercicio, así como campañas de sensibilización del público sobre el cambio climático y sus efectos, para que todos puedan participar en el diseño de estrategias de adaptación/mitigación.

7. Establecer mecanismos que fomentan una mayor colaboración a nivel de cada país, entre países de una misma región, así como acciones de cooperación Sur-Sur con instituciones en otros continentes, pero que presentan condiciones similares. Las “plataformas de innovación” e instituciones regionales como el CATIE, las iniciativas regionales como los PROCIS (PROCISUR, PROCITROPICOS, PROCIANDINO) y los centros del CGIAR que operan en la región (CIAT, CIMMYT, CIP, ICRAF), con sus redes de socios locales y extra-regionales, constituyen una oportunidad efectiva para el trabajo colaborativo en adaptación al cambio climático. Pero sin duda, para que estos operen hay que reforzar el financiamiento de este tipo de iniciativas y organizaciones.

8. Fomentar la participación de los técnicos agropecuarios y representantes del sector privado el diseño y aplicación de mecanismos de financiamiento e incentivos para promover el escalamiento de innovaciones que contribuyen a hacer que los sistemas de producción agropecuaria en LAC sean más intensivos, rentables, competitivos, generen menos emisiones de gases de efecto invernadero y que además sean más resilientes al cambio climático.

## 7. REFERENCIAS

- Aguilar, A., Cruz, J., Flores, J.C., Nyeuwenhuse, A., Pezo, D. y Piniero, M. 2010. ¿Cómo trabajar con las familias ganaderas y las organizaciones de investigación y desarrollo para lograr una ganadería más sostenible y productiva? Las experiencias del proyecto CATIE-Noruega/Pasturas Degradadas con procesos de aprendizaje participativo en Centroamérica. CATIE, Serie Técnica, Informe Técnico No. 381. CATIE, Turrialba, Costa Rica. 124 p.
- Alexandratos, N. 2011. World food and agriculture to 2030/2050 revisited. Hghlights and views four years later. In: Conforti, P. (ed.), Looking ahead in world food and agriculture: Perspectives to 2050. FAO, Rome. Pp. 11-56.
- Altieri, M.A., Nicholls, C.I. 2009. Cambio climático y agricultura campesina: impactos y respuestas adaptativas. LEISA revista de agroecología 14:5-8.
- Anderson, P.K., Cunningham, A.A., Patel, N.G., Morales, F.J., Epstein, P.R., Daszak, P. 2004. Emerging infectious diseases of plants: pathogen pollution, climate change and agrotechnology drivers. Trends in Ecology and Evolution 19:535-544.
- Ardila J. 2010. Extensión rural para el desarrollo de la agricultura y la seguridad alimentaria: aspectos conceptuales, situación y una visión de futuro. IICA, San José, Costa Rica. 128 p. (Disponible en línea en: <http://repiica.iica.int/docs/B1898e/B1898e.pdf>. Consultado en junio del 2017).
- Armesto, J.J., Arroyo, M.T.K., Hinojosa, L.F. 2007. The Mediterranean environment of Central Chile. In: Veblen, T.I., Young, K.R., Orme, A.R., eds.), The Physical Geography of South America. Oxford University Press, New York. Pp. 184-199.
- Barnard, S.; Watson, C.; Schalatek, L. 2016. Reseña regional sobre el financiamiento para el clima: América Latina. Climate Funds Update, Overseas Development Institute (ODI), London, UK. (Disponible en: <https://www.odi.org/sites/odi.org.uk/files/resource-documents/11035.pdf> Consultado el 15 de julio del 2017).
- Barrantes-Bravo, C., Salinas-Flores, J., Yagüe-Blanco, J. L. 2017. Factores que influncian el acceso a la extensión agropecuaria en Perú: Buscando modelos más inclusivos. Agricultura, Sociedad y Desarrollo, 14: 205-217.
- Bates, B.C., Kundzewicz, Z.W., Wu, S., Palutikof, J.P. (Eds.). 2008. El Cambio Climático y el Agua. Documento Técnico del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. Secretaría del IPCC, Ginebra, suiza, 224 p.
- Berdegú, J.A. 2000. Cooperando para competir. Factores de éxito de las empresas asociativas campesinas. RIMISP, Santiago, Chile. 97 p.
- Bernal, M.E. 2013. La innovación social como factor de inclusión social en Latinoamérica. In: Paz, A., Montoya, M.P.; Asensio, R.H. Escalando innovaciones rurales. Instituto de Estudios Peruanos. Estudios de la Sociedad Rural No. 43. IEP, Lima, Perú. Pp. 17-36.

- Bongaart, J. 2009. Human population growth and the demographic transition. *Philosophical Transactions of the Royal Society B* 364:2985-2990.
- Bouroncle C., Imbach, P., Laderach, P.; Rodriguez, B. 2014. Food security and climate change: a vulnerability analysis of agricultural livelihoods in Central America. Third International Climate Change Adaptation Conference - Adaptation Futures 2014. Fortaleza, Ceara, Brazil. *Geophysical Research Letters* 33(8): Poster.
- Bruinsma, J. 2011. The resources outlook: by how much do land, water and crop yields need to increase by 2050? In: Conforti, P. (Ed.), *Looking ahead in world food and agriculture: Perspectives to 2050*. FAO, Rome. Pp. 233-278.
- CAC. 2017. Estrategia agricultura sostenible adaptada al clima para la región del SICA (2018-2030). Consejo Agropecuario Centroamericano (CAC). San José, Costa Rica. 39 p.
- CAMBio. 2011. Proyecto Mercados Centroamericanos para la Biodiversidad. Disponible en línea: <http://www.proyectocambio.org/>. Consultado en octubre 2017.
- Caravani, A.; Nakhooda, S.; Watson, C.; Schalatek, L. 2012. La arquitectura mundial del financiamiento para el clima. *Climate Funds Update*. Heinrich Böll Stiftung Noth America. Washington DC, USA. (Disponible en línea: <https://www.odi.org/sites/odi.org.uk/files/odi-assets/publications-opinion-files/7944.pdf>. Consultado el 1 de agosto del 2017.).
- CATIE. 2015. Informe Anual 2014 Programa Agroambiental Mesoamericano (MAP) Noruega. CATIE. Serie Institucional. Informe Anual No. 33. CATIE, Turrialba, Costa Rica. 28 p.
- CEPAL. 2013. Agricultura y cambio climático: nuevas tecnologías en la mitigación y adaptación de la agricultura al cambio climático. Memoria 3er Seminario Regional de Agricultura y Cambio Climático, realizado 27-28 septiembre 2012. ONU, Santiago, Chile. 96 p.
- Chakeredza, S., Temu, A.B., Yaye, A., Mukingwa, S., Saka, J.D.K. 2009. *Mainstreaming Climate Change into Agricultural Education: Challenges and Perspectives*. ICRAF Working Paper no. 82. World Agroforestry Centre, Nairobi, Kenya. 26 p.
- Clements, R., Hagggar, J. Quezada, A., Torres, J. 2012. *Tecnologías de Adaptación al Cambio Climático. Sector Agropecuario*. Centro Risø de Energía, Clima y Desarrollo Sostenible del PNUMA. UNEP, Universidad Técnica de Dinamarca, Roskilde, Dinamarca. 219 p.
- Cristoplos, I. 2010. *Cómo movilizar el potencial de la extensión agraria y rural*. Foro Mundial de Asesoramiento Rural. FAO, Roma. Italia. 68 p. (Disponible en línea en: <http://www.fao.org/docrep/013/i1444s/i1444s.pdf>. Consultado en junio del 2017).
- Diamond, J. 2011 *Collapse: How societies choose to fail or succeed*. Penguin, New York, USA. 608 p.
- Diaz-Bonilla, E; Saini, E; Henry, G; Creamer, B; Trigo, E. 2014. *Tendencias estratégicas mundiales e investigación y desarrollo agrícola en América Latina y el Caribe: Un marco para análisis*. Cali, Colombia, Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). 55 p.



- Dinesh D, Campbell B, Bonilla-Findji O, Richards M (eds.). 2017. 10 best bet innovations for adaptation in agriculture: A supplement to the UNFCCC NAP Technical Guidelines. CCAFS Working Paper no. 215. CGIAR Research Program on Climate Change, Agriculture and Food Security (CAAFS). Wageningen, The Netherlands. 68 p.
- Ewel, J.J. 1999. Natural systems as models for the design of sustainable systems of land use. *Agroforestry Systems* 45:1-21.
- FAO. 2013. *Climate-smart Agriculture Sourcebook*. FAO, Rome, Italia. 570 p.
- FAO. 2015. Regional assessment of soil changes in Latin America and the Caribbean. In: *FAO Status of the World's Soil Resources (SWSR) - Chapter 12. Regional assessment of soil changes in Latin America and the Caribbean*. Food and Agriculture Organization of the United Nations and Intergovernmental Panel on Soils. Rome, Italy. Pp. 364-398.
- FAO. 2017. *The future of food and agriculture - Trends and challenges*. FAO, Rome. 163 p.
- FAO. 2017<sup>a</sup>. *Agroecología para la Seguridad Alimentaria y Nutrición - Actas del Simposio Internacional de FAO*. 18-19 septiembre del 2014. FAO. Roma, Italia. 466 pp.
- FAO. 2017b. *Agroforestería para la restauración del paisaje: Explorando el potencial de la agroforestería para mejorar la sostenibilidad y la resiliencia de los paisajes degradados*. FAO, Mecanismo para la Restauración de Bosques y Paisajes (RMBP). FAO, Roma, Italia. 20 p.
- FAO y BID. 2016. *Estrategias, reformas e innovaciones en los sistemas de extensión rural y asistencia técnica en América del Sur*. Lima, Perú. 77 p. (Disponible en línea en: <http://www.fao.org/3/a-i6055s.pdf> Consultado en junio del 2017).
- FAO y GIZ. 2012. *Herramientas para la adaptación y mitigación del cambio climático en el sector agropecuario: Resultados del taller práctico*. Proyecto PROAGRO, GIZ. La Paz, Bolivia. 89 p.
- FAOSTAT. 2017. *Agriculture Organization of the United Nations Statistics Division*. Rome, Italy. (Economic and Social Development Department, Rome, Italy. <http://faostat3.fao.org/home/E>. Accessed).
- FONAFIFO (2017), *Comunicación Personal de Diego Tobar, anterior Investigador en Servicios Ecosistémicos de Sistemas Silvopastoriles*, CATIE, Turrialba, Costa Rica.
- Galante, A. Lo Re, L. Boos, D. Marr. M. Lemus, M. López, M. Mordasini, M. Martínez. W. 2014. *Acciones Nacionales Apropriadas de Mitigación (NAMA) en el uso final de la energía del sector gubernamental*. Proyecto PNUD/CNE/00075672. Perspectivas GmbH, Hamburgo, Alemania. 106 p. (Disponible en Línea: <http://fiiapp.org/wp-content/uploads/2016/02/Anexo-I.pdf>. Consultado octubre 2014).
- Gaughan, J.B.; Cawsell-Smith, A.J. 2015. Impact of climate change on livestock production and reproduction. In: Sejian, V., Gaughan, J., Baumgard, L., Prasad, C.S. (Eds.). *Climate Change Impact on Livestock: Adaptation and Mitigation*. Springer-er-Verlag GmbH Publisher, New Delhi, India. Pp. 51-60.

- Gibbs, H.K, Ruesch, A.S., Achard, F., Clayton, M.K., Holmgren, P., Ramankutty, N., Foley, J.A. 2010. Tropical Forests were the Primary Sources of Key Agricultural Land in the 1980s and 1990s. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 107(38):16732-37.
- Giovannucci, D.; Koekoek, F. J. 2003. The State of Sustainable Coffee: A Study of Twelve Major Markets. International Coffee Organization, International Institute for Sustainable Development, UNCTAD. MPRA Paper No. 17172, Munich, Alemania. 199 p. (Disponible en Línea: <https://mpra.ub.uni-muenchen.de/17172/> . Consultado en septiembre 2017).
- Gobbi, J.A., Casasola, F- 2003. Comportamiento financiero de la inversión en sistemas silvopastoriles en fincas ganaderas de Esparza, Costa Rica. *Agroforestería en las Américas* 10 (9-40):52-60.
- Gómez, T., Cruz, M., Rindermann, R. 2003. La agricultura orgánica en México. In: Producción, comercialización y certificación de la agricultura orgánica en México. Centro de Investigaciones Económicas, Sociales y Tecnológicas de la Agroindustria y la Agricultura Mundial (CIESTAAM-PIAI), Universidad de Chapingo. Texcoco, México. Pp. 91-108.
- Guerrero, Y. 2012. Impacto de créditos verdes del proyecto CAMBlo, en el establecimiento de sistemas silvopastoriles en fincas ganaderas de la Zona Central Norte de Nicaragua. Tesis M.Sc. CATIE. Turrialba. Costa Rica. 80 p.
- Guerrero, Y., Tobar, D. 2012. Impacto de créditos verdes del proyecto CAMBlo, en el establecimiento de sistemas silvopastoriles en fincas ganaderas de la Zona Central Norte de Nicaragua. Actas VII Congreso de agroforestería. Belém, Brasil. USJR, CBPS, UFPA, CIPAV, CATIE. Belém, Brasil. Pp. 61 - 67.
- Harvey, CA; Komar, O; Chazdon, R; Ferguson, BG; Finegan, B; Griffith, DM; Martinez Ramos, M; Morales, H; Nigh, R; Soto Pinto, L. 2008. Integrating agricultural landscapes with biodiversity conservation in the Mesoamerican hotspot. *Conservation biology* 22(1):8-15.
- Hijmans, R.J; Cameron, S.E., Parra J.L., Jones, P.G., Jarvis, A. 2005. Very high-resolution interpolated climate surfaces for global land areas international. *Journal of Climatology* 25: 1965-1978.
- Hillebrand, E. 2011. Poverty, growth and inequality over the following 50 years. In: Conforti, P. (ed.), *Looking ahead in world food and agriculture: Perspectives to 2050*. FAO, Rome. Pp. 159-190.
- Hogarth, JR; Campbell, D; Wandel, J. 2014. Assessing human vulnerability to climate change from an evolutionary perspective. In Zoomers, Z; Singh, A (eds.). *Reducing Disaster: Early Warning Systems for Climate Change*. New York, USA, Springer. p. 63-87.
- Ibrahim, M., Casasola, F., Gobbi, J. 2007. Informe de Avance Anual No 4 (Agosto 2005 - Agosto 2006). Enfoques Silvopastoriles Integrados para el Manejo de Ecosistemas (GEF-Banco Mundial). Turrialba, CR, CATIE- CIPAV- NITLAPAN. 176 p.
- IFOAM. 2016. Organic 3.0 for truly sustainable farming and consumption. 2nd Updated edition. International Federation of Organic Agriculture Movement. Bonn, Germany. 24 p. Disponible en línea: [https://www.ifoam.bio/sites/default/files/organic3.0\\_v.2\\_web\\_0.pdf](https://www.ifoam.bio/sites/default/files/organic3.0_v.2_web_0.pdf) Consultado octubre 2017.

- IICA. 2013. Cambió el clima: Herramientas para abordar la adaptación al cambio climático desde la extensión. IICA, Montevideo, Uruguay. 111 p. Magrin. G.O. 2015. Adaptación al cambio climático en América Latina y el Caribe. Estudios del Cambio Climático en América Latina. Documento de Proyecto. Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), Santiago, Chile. 78 p.
- IPCC. 2007. The Intergovernmental Panel on Climate Change. History. Disponible en línea en: [https://www.ipcc.ch/organization/organization\\_history.shtml](https://www.ipcc.ch/organization/organization_history.shtml) Consultado en julio del 2017.
- IPCC, 2013. Cambio climático. Bases físicas. Contribución del Grupo de trabajo I al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. Resumen para responsables de políticas. 34p.
- IPCC, 2014. Cambio climático 2014: Impactos, adaptación y vulnerabilidad – Resumen para responsables de políticas. Contribución del Grupo de trabajo II al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. [Field, C.B., V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea, L.L. White (eds.)]. Organización Meteorológica Mundial, Ginebra, Suiza, 34 p.
- IPCC. 2014<sup>a</sup>. Cambio Climático 2014. Informe de Síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [Equipo principal de redacción, R.K. Pachauri y L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Ginebra, Suiza. 157 p.
- Justo, J. 2015. Lecciones Aprendidas en el desarrollo de NAMAs en América Latina y el Caribe. Informe Final. Enero 2015. Lima, Perú: OLADE. (Disponible en línea: <http://www.olade.org/wp-content/uploads/2015/09/LECCIONES-APRENDIDAS-EN-EL-DESARROLLO-DE-NAMAS-EN-ALC-AGOSTO-2015.pdf>. Consultado octubre 2017).
- Keaney, J. 2010. Food consumption trends and drivers. Philosophical Transactions of the Royal Society B 365: 2793-2807-
- Kilelu, C.W., Klerkx, L., Leeuwis, C. 2013. Unravelling the role of innovation platforms in supporting co-evolution of innovation: Contributions and tensions in a smallholder dairy development programme. Agricultural Systems 118: 65-77
- Kimbrell, A. (ed.). 2002. Fatal Harvest. The Tragedy of Industrial Agriculture. Island Press, Foundation for Deep Ecology, Washington DC, USA. In: Kreft, S., Eckstein, Junghans, L., Kerestan, C., Hagen, U. 2014. GLOBAL CLIMATE RISK INDEX 2015, ¿Who suffers most from extreme weather events? Weather-related loss events in 2013 and 1995 to 2013. GermanWatch. Briefing Paper. BMZ. Berlin. Germany. Pp. 1-32.
- Klerkx, L., Hall, A., Leeuwis, C. 2013. Fortalecimiento de la capacidad de innovación agrícola: ¿los gestores sistémicos de innovación son la respuesta? In: Paz, A., Montoya, M.P.; Asensio, R.H. Escalando innovaciones rurales. Instituto de Estudios Peruanos. Estudios de la Sociedad Rural No. 43. IEP, Lima, Perú. Pp. 87-108.

- Kreft, S., D. Eckstein, L. Dorsch y Livia Fischer. 2015. GLOBAL CLIMATE RISK INDEX 2016, Who suffers most from extreme weather events? Weather-related Loss Events in 2014 and 1995 to 2014. Briefing Paper. Berlin. Alemania. 23 p.
- Leeuwis, C., Hall, A. 2010. Facing the challenges of climate change and food security: the role of research, extension and communication institutions. Assignment commissioned by the Research and Extension Branch at FAO. Final Report. Wageningen University y UNU MERIT. Wageningen, The Netherlands. 101 p. ONU. 1992. Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. ONU, New York, USA. 26 p.
- López, R. 2005. Why governments should stop non-social subsidies: Measuring their consequences for rural Latin America. World Bank Policy Research Working Paper No. 3609. World Bank, Washington, DC. 16 p.
- Lutter, C.K., Chaparro, C.M., Muñoz, S. 2011. Progress towards Millennium Development Goal 1 in Latin America and the Caribbean: the importance of the choice of indicator for undernutrition. World Health Organization Bulletin 89: 22-30
- MAG. 2014. NAMA café de Costa Rica. Una herramienta para el desarrollo sostenible. San José, Costa Rica. 4p. (Disponible en Línea: <http://www.mag.go.cr/cambio-climatico/cop18-Caso-NAMA-Cafe.pdf> Consultado octubre 2017).
- MAG. 2015. NAMA Ganadería: Estrategia Nacional de Ganadería Baja en Carbono (ENGBC). Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG), San José, Costa Rica. 28 p.
- MAG. 2017. Manual de Herramientas sobre Tecnologías de Producción Agropecuaria. Ministerio de Agricultura y Ganadería, San José, Costa Rica. 155 p.
- Magrin, G.O. 2015. Adaptación al cambio climático en América Latina y el Caribe. Estudios del Cambio Climático en América Latina. Documento de Proyecto. Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), Santiago, Chile. 78 p.
- Mahlknecht, J. 2012. Los recursos hídricos en América Latina. Evolución, Desarrollo y Transformación de las Ideas 1(9): 1-2.
- Mendieta, MP. 2013. Acciones Nacionalmente Apropriadas de Mitigación (NAMAs) en Colombia. MinAmbiente, Bogotá, Colombia. 8 p. (Disponible en Línea: [http://www.minambiente.gov.co/images/cambioclimatico/pdf/Accion\\_nacional\\_Ambiental\\_/Documento\\_de\\_NAMAs.pdf](http://www.minambiente.gov.co/images/cambioclimatico/pdf/Accion_nacional_Ambiental_/Documento_de_NAMAs.pdf) Consultado octubre 2017).
- Mollison, B. 1996. Permaculture: A Designer's Manual. Tagari Publications, Tyalgum, Australia. 576 p.
- Montgomery DR 2012. Dirt. The Erosion of Civilizations. Berkeley. University of California Press. 285 pp.
- Montilla-Pacheco, A. 2011. Contribución al estudio de las sabanas de Venezuela. Geo-enseñanza 15:35-48.
- Murgueito, E, Ibrahim, M., Ramírez, E., Zapata, A., Mejía, C., Casasola, F. 2003. Usos de la tierra en fincas ganaderas. Guía para el pago de servicios ambientales del proyecto Enfoques Silvopastoriles Integrados para el Manejo de Ecosistemas. CIPAV, Cali, Colombia. 97 p
- Nájera, O. 2002. El café orgánico en México. Cuadernos de Desarrollo Rural 48:59-75.

- Muschler, R.G. 2016. Agroforestry: essential for climate-smart land use? In: Pancel L, Köhl M (eds.). *Tropical Forestry Handbook*, 2nd ed. Springer, Berlin, Germany. Pp. 2013-2116
- MVOTMA. 2014. NAMAs en Uruguay. Taller Acciones Nacionales Apropriadas de Mitigación (NAMAs) en el sector de energías renovables. Memorias. Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente. Montevideo, Uruguay.
- Myers, N., Mitterneier, R.A., Mittermeier, C.G., da Fonseca, G.A.B., Kent, J. 2000. Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature* 403: 853-858.
- Nicholls-Estrada, C.I., Rios-Osorio, L.A., Altieri, M.A. (eds.). 2013. *Agroecología y resiliencia socioecológica: Adaptándose al cambio climático*. Sociedad Científica Latinoamericana de Agroecología (SOCLA), Medellín, Colombia, 207 p.
- Nieters, A., Grabs, J., Jiménez, G., Alpízar, W. 2015. NAMA Café de Costa Rica: Una herramienta para el desarrollo bajo en emisiones. GIZ, Programa Acción Clima. San José, Costa Rica. 4 p.
- Noble, I.R., Huq, S., Anokhin, Y.A., Carmin, J., Goudou, D., Lansigan, F.P., Osman-Elasha, B., Villamizar, A. 2014. Adaptation needs and options. In: Field, C.B., et al. (eds.). *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, UK. Pp. 833-868.
- ONU. Convención Marco sobre el Cambio Climático. 2015. Informe de la Conferencia de las Partes sobre su 21er Período de Sesiones, celebrado en París del 30 de noviembre al 13 de diciembre de 2015. Acuerdo de París. Organización de las Naciones Unidas (ONU), New York, USA. 44 p. (Disponible en línea en: <http://unfccc.int/resource/docs/2015/cop21/spa/10s.pdf> Consultado en julio del 2017).
- ONU. 1992. Protocolo de Kyoto. Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. Nueva York, USA, Organización de las Naciones Unidas. 25 p.
- Ortiz, R. 2012. El cambio climático y la producción agrícola. Washington DC, USA, Banco Interamericano de Desarrollo. Unidad de Salvaguardas Ambientales. 36 p. (Notas Técnicas). No. ESG-TN-383.
- Ovalle-Rivera, O., Läderach, 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(4): e0124155. doi:10.1371/journal.pone.0124155
- Pagiola, S., Ruthenberg, I. 2007. Capítulo 8. La venta de biodiversidad en una taza de café: el café de sombra y la conservación forestal en Mesoamérica. In: Pagiola, S., Bishop, J., Landell-Mills, N. (eds.). *La Venta de Servicios Ambientales Forestales, Mecanismos basados en el mercado para la conservación y el desarrollo*. 2da. edición. INE-SEMARNAT, México. Pp. 207-240 (Disponible en Línea: <http://www2.ine.gob.mx/publicaciones/libros/503/cap8.html>. Consultado octubre 2017).
- Pérez Akaki, P. 2009. Los espacios de producción de café sustentable en México en los inicios del siglo XXI. *Revista Pueblos y Fronteras* 4(7): 116-156. (Disponible en Línea: <http://redalyc.uaemex.mx/buscador>. Consultado septiembre 2017).
- Pettengel, C. 2010. Adaptación al cambio climático: Capacitar a las personas que viven en la pobreza para que puedan adaptarse. OXFAM Internacional, Informe de Investigación. Oxford, UK. 56 p.

- Pezo, D. 2016. Estrategia regional para la intensificación sostenible de la ganadería dentro del contexto de la adaptación/mitigación al cambio climático y políticas asociadas. Informe de Consultoría, IICA - Oficina en Costa Rica. IICA, San José, Costa Rica. 72 p.
- Pezo, D., Ibrahim, M., Acosta, A., García, F. 2012. Potencial de sostenibilidad ambiental de los sistemas de producción bovina en América Central. Presentado a Oficina Subregional FAO para América Central, Ciudad de Panamá, Panamá. CATIE, Turrialba, Costa Rica. 76 p.
- Philpott, S., Bichier, P., Rice, R., Greenberg, R. 2007. Field-testing ecological and economic benefits of coffee certification programs. *Conservation Biology* 21: 975- 985
- Pinto, J., Bonacic, C., Hamilton-West, C., Romero, J., Lubroth, J. 2008. Cambio climático y enfermedades de los animales en América del Sur. In: S. de la Rocque, S. Morand y G. Hendrickx (Eds.). Cambio climático: influencia en la epidemiología y las estrategias de control de enfermedades animales. Organización Mundial de Sanidad Animal. París, Francia. *Revista Científica y Técnica OIE* 27: 599-613.
- Pohlan, J., Soto, L., Barrera, J. 2006. El cafetal del futuro: Realidades y visiones. ECOSUR, San Cristóbal, Chiapas, México. 462 p.
- Programa de Prevención de Desastres de la Comunidad Andina. 2007. Memoria del Taller “Incorporando la Gestión del Riesgo y el Cambio Climático en los Programas de Maestría y Doctorado en el Perú”. Comunidad Andina. Lima, Perú. 66 p.
- Rodríguez, A.G., Meza, L.E.; Cerecera, F. 2015. Investigación científica en agricultura y cambio climático en América Latina y el Caribe. Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). Santiago, Chile. 89 p. (Disponible en línea en: ([http://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/38120/S1500304\\_es.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/38120/S1500304_es.pdf?sequence=1&isAllowed=y)). Consultado en julio del 2017).
- Rodríguez Vargas, A. 2007. Cambio climático, agua y agricultura. *ComunIICA 1 (II Etapa)*: 13-23.
- Rippstein, G., Escobar, G., Motta, F. (Eds.). 2001. Agroecología y biodiversidad en las Sabanas Orientales de Colombia. CIAT, Publicación No. 322. CIAT, Cali, Colombia. 302 p.
- SAGARPA. 2017. Impulsan SAGARPA y USDA entrenamiento de extensionistas en mitigación y adaptación al cambio climático en el sector agropecuario. Disponible en: <http://agendadeldesarrollosocial.com/2017/08/14/impulsan-sagarpa-usda-extensionistas-mitigacion-adaptacion-al-cambio-climatico-sector-agropecuario/> Consultado en agosto de 2017.
- Sánchez, J. A. 2012. Biodiversidad, conservación y desarrollo. Ediciones Universidad de los Andes, Bogotá, Colombia. 468 pp.
- Sánchez, L. Reyes, O. 2015. Medidas de adaptación y mitigación frente al cambio climático en América Latina y el Caribe. Una revisión general. Naciones Unidas, CEPAL. Santiago, Chile. 73 p.
- Toro, G., Espinoza, C.N. 2003. Los fondos competitivos para la agricultura y el desarrollo rural: fundamentos, aplicaciones y lecciones. RUTA, IICA. San Jose, Costa Rica. 94 p.
- Torres G., F. 2013. Factores críticos en el escalamiento de innovaciones agrarias en el norte del Perú. In: Paz, A., Montoya, M.P.; Asensio, R.H. Escalando innovaciones rurales. Instituto de Estudios Peruanos. *Estudios de la Sociedad Rural* No. 43. IEP, Lima, Perú. Pp. 123-148.

- Trigo E., Mateo N., Falconi C. 2013. Innovación Agropecuaria en Latinoamérica y el Caribe: Escenarios y Mecanismos Institucionales. División de Medioambiente, Desarrollo Rural y Administración de Riesgos por Desastres. Nota Técnica IDB-TN-528. Washington DC, USA. 90 p. (Disponible en línea en: <https://publications.iadb.org/handle/11319/5856?locale-attribute=es>. Consultado en junio del 2017).
- Truitt, N; Zeigler, M. 2014. La próxima despensa global: cómo América Latina puede alimentar al mundo. Washington DC, USA, Banco Interamericano de Desarrollo. 56 p. (Global Harvest Initiative. Monografía). No. 202.
- Trumper, K., Bertzky, M., Dickson, B., Heijden van der, G., Jenkins, M., Manning, P. 2009. The natural fix? The role of ecosystems in climate mitigation. A UNEP Rapid Response Assessment. United Nations Environment Programme, UNEP- WCMC, Cambridge, UK. 65 p.
- Tudela, M. 2012. Análisis del Proyecto CAMBio para el apoyo de las MIPYME amigables con la biodiversidad en Centroamérica. Tesis de Maestría. Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, España. 100 p.
- UNESCO. 2014. Educación sobre el cambio climático para el desarrollo sostenible. UNESCO, Paris, Francia. 20 p.
- UNFCCC. 2013. First annual report to the 19th Conference of the Parties on the operation of the registry of nationally appropriate mitigation actions. Conference of the Parties. Warsaw 11-22 November 2013. FCCC/CP/2013/INF.2. United Nations- Framework Convention on Climate Change, Bonn, Germany. 19 p.
- UNFCCC. 2017a. Identifying Policy Support for Effective Climate Technologies. United Nations Framework Convention on Climate Change. Technology Executive Committee Meeting. Bonn, Germany, September 2017. (Disponible en línea en: <http://newsroom.unfccc.int/climate-action/identifying-policy-support-for-climate-technologies/>. Consultado en septiembre del 2017).
- UNFCCC. 2017b. Mitigation - NAMAs, Nationally Appropriate Mitigation Actions. (Disponible en línea en: <http://unfccc.int/focus/mitigation/items/7172.php>. Consultado en septiembre del 2017).
- Uribe-Botero, E. 2015. El cambio climático y sus efectos en la biodiversidad en América Latina. CEPAL - Unión Europea. Naciones Unidas, Santiago. 77 p.
- Vergara, W., Ríos, A.R., Trapido, P., Malarín, H. 2014. Agricultura y Cambio Climático en América Latina y el Caribe: Impactos sistémicos y posibles respuestas. BID. División de Cambio Climático y Sostenibilidad. Documento de Debate No. IDP-DP-329. BID, Washington D.C. 15 p.
- Vivanco, M.A., Bellatin, P. 2013. Innovación y participación para el desarrollo de la pequeña producción campesina: la experiencia del programa "Sierra Productiva". In: Paz, A., Montoya, M.P.; Asensio, R.H. Escalando innovaciones rurales. Instituto de Estudios Peruanos. Estudios de la Sociedad Rural No. 43. IEP, Lima, Perú. Pp. 235-256.



# ANEXOS



# ANEXO 1. METODOLOGÍA USADA PARA LA IDENTIFICACIÓN DE LOS EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO SOBRE LA DISTRIBUCIÓN DE LOS CULTIVOS

## 1. INTRODUCCIÓN

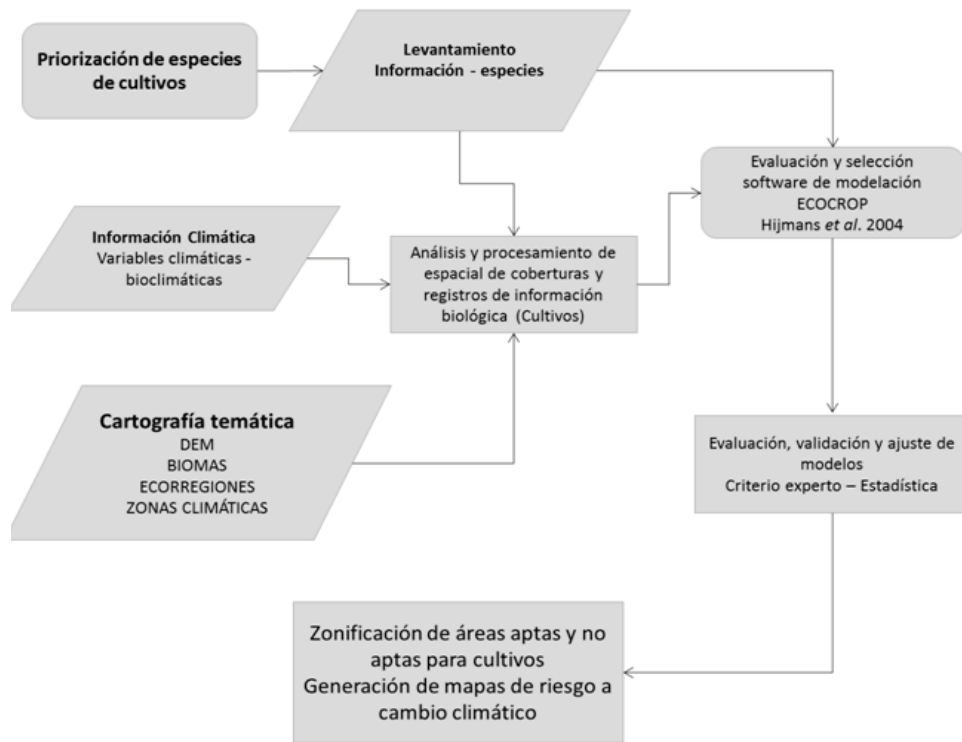
Los modelos que permiten proyectar e identificar áreas potenciales de distribución de cultivos pueden clasificarse en estáticos y dinámicos. Los modelos estáticos representan un fenómeno particular en un punto y tiempo dado, como es el caso de un mapa de localización de una enfermedad para un año específico, pero éstos no permiten evidenciar la evolución del fenómeno puesto que no consideran la dimensión temporal (Hannon y Ruth 1997, Grant et al. 2001). Por otro lado, los modelos dinámicos permiten describir el cambio y evolución de un sistema en el tiempo mediante la representación de procesos por medio de ecuaciones matemáticas que intentan capturar el cambio en tiempo real o simulado (Hannon y Ruth 1997, Grant et al. 2001).

Para el modelamiento estático de cultivos en escenarios de tiempo (p.e. cambio climático) y espacio (p.e., nuevas áreas potencialmente aptas), se han trabajado modelos de tipo estático como Maxent, Garp, EcoCrop y Canasta, entre otros. Estos modelos relacionan las características ecológicas de registros de presencia y en algunos casos ausencia, con el fin predecir la probabilidad de presencia o ausencia de una especie a través de un paisaje, apoyándose en Sistemas de Información Geográfica (Graham et al. 2004, Soberón y Peterson 2005, Pearman et al. 2008). La ventaja de estos modelos es que permiten la representación espacial de acuerdo con las relaciones ecológicas entre la especie y el ambiente, lo cual posibilita empezar a entender cuáles y dónde se encuentran las limitaciones

ambientales y geográficas. Sin embargo, estos modelos no consideran otros factores (p.e. condiciones de suelo, acceso a mercados) que pueden ser de gran importancia en el desarrollo agropecuario.

Por otro lado, modelos dinámicos como AquaCrop, Stella y DSSAT (Hoogenboon et al, 2017), solo por mencionar algunos de los más utilizados, permiten predecir el comportamiento de un cultivo en el tiempo y en una región específica. Para utilizarlos se requiere información local y específica del cultivo que se pretende modelar, con datos históricos y consecutivos a escalas puntuales. Los resultados de estos modelos podrían mapearse, pero como un proceso adicional. Teniendo en cuenta los requerimientos de los diferentes tipos de modelos, de los algoritmos asociados y de la información disponible para los cultivos, para la presente consultoría se seleccionó la herramienta de ECOCROP, debido a que se fundamenta en el conocimiento de los requerimientos ecofisiológicos de los cultivos y los contrasta con las condiciones ambientales esperadas como consecuencia del cambio climático, para así predecir los cambios en distribución del cultivo a una escala regional. Esta decisión permitió a analizar los cambios esperados para un conjunto de cultivos agrícolas y forrajeros de relevancia para la región, con el fin de alcanzar los objetivos y resultados esperados del estudio.

Por otro lado, se utilizaron modelos de aptitud climática para identificar los efectos del cambio climático sobre la distribución de los cultivos y forrajes seleccionados, mediante el uso de



**Figura 1A.** Procedimiento metodológico para la generación de mapas de aptitud climática actual y futura de cultivos prioritarios en América Latina.

## 2. CONSTRUCCIÓN DE MODELOS

### 2.1 El modelo EcoCrop

Es un algoritmo enfocado hacia un índice de aptitud climática de cultivos con base en parámetros básicos de crecimiento, como temperaturas y precipitaciones óptimas y absolutas. Entre los umbrales absolutos y óptimos hay un rango de condiciones de “aptitud” climática que va entre 0-100% (Figura 2A) y entre las condiciones óptimas hay condiciones muy aptas para el crecimiento del cultivo (“aptitud” climática de 100%). El modelo evalúa por separado precipitación y temperatura, y luego las combina multiplicando los resultados (Hijmans et al. 2005). La potencialidad de esta herramienta es que se puede utilizar cuando no existen datos de evidencia es decir de ocurrencia o presencia (coordenadas x, y), por lo tanto,

el criterio experto, así como el conocimiento técnico sobre un cultivo dado, son útiles no solo para construir el modelo sino también para evaluarlo.

EcoCrop es útil para detectar los cambios en los nichos principales de un cultivo y para tomar decisiones regionales de cara al tipo de interés del investigador y a las zonas específicas donde los cultivos tienen mayores impactos negativos o, al contrario, presentan condiciones propicias para su crecimiento en áreas nuevas donde antes el cultivo no se conocía (CORPOICA - CIAT 2012). Cabe anotar que la limitación del modelo radica en la generalidad de sus resultados, los cuales pueden ser usados para describir tendencias generales en tiempo y espacio.

Los parámetros requeridos para el funcionamiento de EcoCrop son:

$G_{mean}$ : estación de crecimiento (número de meses que la planta necesita para crecer).

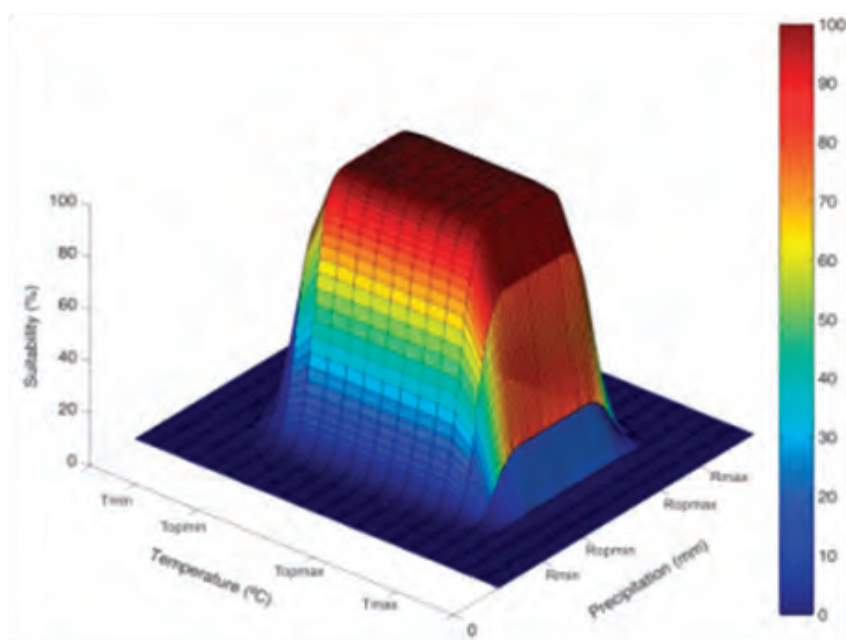
$T_{kill}$ : temperatura mínima que la planta resiste (en este umbral la planta muere).

$T_{min}$ : temperatura mínima para el crecimiento de la planta.

$TOP_{min}$ : temperatura óptima mínima para el crecimiento de la planta.

$TOP_{max}$ : temperatura óptima máxima para el crecimiento de la planta.

$T_{max}$ : temperatura máxima que detiene el crecimiento de la planta.



**Figura 2A.** Diagrama de tres dimensiones del modelo de nicho ecológico usado en el análisis. Fuente: <http://gisweb.ciat.cgiar.org/ClimateChange/EcoCropFB/#>

## 2.2 Insumos para el Modelamiento

### 2.2.1 Cultivos

Los datos de los cultivos provienen de los parámetros establecidos en la Base de datos de cultivos de EcoCrop la cual contiene los requerimientos de cultivos de la FAO, incluyendo los parámetros arriba descritos ( $T_{kill}$ ,  $T_{min}$ ,  $TOP_{min}$ ,  $TOP_{max}$ ,  $T_{max}$ ,  $R_{min}$ ,  $ROP_{min}$  y  $R_{min}$ ). Los cultivos se seleccionaron de acuerdo a los criterios establecidos por el grupo de consultores del CATIE y de FONTAGRO.

### 2.2.2 Clima

#### 2.2.2.1 Actual (Línea base)

Se utilizó la base de datos de clima conocida como WorldClim (Hijmans et al. 2005), disponible en <http://www.worldclim.org/>. Esta base de datos contiene promedios de largo plazo (1960-1990) de temperaturas máximas, mínimas y medias mensuales, y precipitación total mensual. Los datos se encuentran disponibles a la resolución de 30 arco-segundos (~1km en el Ecuador).

### 2.2.2.2 Futuro (2050)

Los datos climáticos futuros provienen de la base de datos del Panel Intergubernamental de Expertos en Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés) (IPCC, 2014), disponible en: <http://www.worldclim.org/CMIP5v1>, producto del quinto informe de cambio climático. Para el presente proyecto se descargaron

19 Modelos de Circulación Global (GCM), a partir de esta información se seleccionaron los modelos que mejor se ajustan para la Región y se corrieron los modelos de Ecocrop con este insumo de clima esperado. Al igual que la línea base estos modelos Los datos se encuentran disponibles a la resolución de 30 arco-segundos (~1km en el ecuador), gracias al proceso de “downscaling”.

**Cuadro 1A. Modelos de circulación global (GCM) que serán evaluados para incluir en el proceso de modelamiento**

GCM	
ACCESS1-0 (#)	HadGEM2-CC
BCC-CSM1-1	HadGEM2-ES
CCSM4	INMCM4
CESM1-CAM5-1-FV2	IPSL-CM5A-LR
CNRM-CM5 (#)	MIROC-ESM-CHEM (#)
GFDL-CM3	MIROC-ESM (#)
GFDL-ESM2G	MIROC5 (#)
GISS-E2-R	MPI-ESM-LR
HadGEM2-AO	MRI-CGCM3
	NorESM1-M

### 3. REFERENCIAS

- CORPOICA - CIAT. 2012. Modelo para evaluar los riesgos del cambio climático y generar estrategias de adaptación y mitigación, en la Altillanura Colombiana. Documento de trabajo. 69p.
- Elith, J., M. Kearney y S. Phillips. 2010. The art of modeling range-shifting species. *Methods in Ecology and Evolution*, 1: 330-342
- Graham, C.H., Ferrier, S., Huettman, F., Moritz, C., Peterson, A.T. 2004. New developments in museum based informatics and applications in biodiversity analysis. *Trends in Ecology and Evolution* 19: 497-503.
- Grant, W.E., Marin, S.L, Pedersen, E.K. 2001. *Ecología y manejo de recursos naturales: análisis de sistemas de simulación*. San José, C.R.: IICA. 340 p.
- Guisan, A y W. Thuiller. 2005. Predicting species distribution: offering more than simple habitat models. *Ecology Letters*, 8: 993-1009.
- Guisan, A; NE Zimmermann, 2000. Predictive habitat distribution models in ecology. *Ecol. Model.*, 135, 147-186.
- Hannon, B., Ruth, M. 1997. *Modeling dynamic biological systems*. Springer-Verlag New York, USA. 395 p.
- Hijmans, R.J., Guarino, L., Jarvis, A., O'Brien, R., Mathur, P., Bussink, C., Cruz, M., Barrantes, I., and Rojas, E. 2005. *DIVA-GIS Version 7.5.0., Manual*.
- Hoogenboom, G., Porter, C.H., Shelia, V., Boote, K.J., Singh, U., White, J.W., Hunt, L.A., Ogoshi, R., Lizaso, J.I., Koo, J., Asseng, S., Singels, A., Moreno, L.P., Jones, J.W. 2017. *Decision Support System for Agrotechnology Transfer (DSSAT) Version 4.7* (<https://DSSAT.net>). DSSAT Foundation, Gainesville, Florida, USA.
- IICA 2015. *Perspectivas de la agricultura y del desarrollo rural en las Américas 2015-2016*. IICA, San Jose, 215p.
- IPCC (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático) 1996. *Tecnologías, políticas y medidas para mitigar el cambio climático*. Documento Técnico 1 del IPCC. 95 p.
- IPCC (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático) 2014. *Cambio climático 2014 Impactos, adaptación y vulnerabilidad*. Contribución del Grupo de trabajo II al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. 95 p.
- Pearman, P.B., Guisan, A., Broennimann, O., Randin, C. F. 2008. Niche dynamics in space and time. *Trends in Ecology and Evolution* 23: 149-158.
- Sánchez- Cordero, V; E, Martínez -Meyer 2000. Museum specimen data predict crop damage by tropical rodents. *Proceedings National Academy of Sciences*. USA. 97: 7074-7077.
- Soberón, J., Peterson. A.T. 2005. Interpretation of models of fundamental ecological niches and species' distributional areas. *Biodiversity Informatics* 2: 1-10.

## ANEXO 2. MAPAS DE APTITUD CLIMÁTICA PARA LOS CULTIVOS Y PASTOS SELECCIONADOS

En este anexo se presentan los resultados del modelaje de aptitud climática para los siguientes 22 cultivos, las cuales contienen 2 gramíneas y 3 leguminosas escogidas por su alta importancia como forrajes para animales y 17 cultivos agrícolas seleccionados por su importancia en diferentes zonas agrícolas de América Latina y el Caribe.

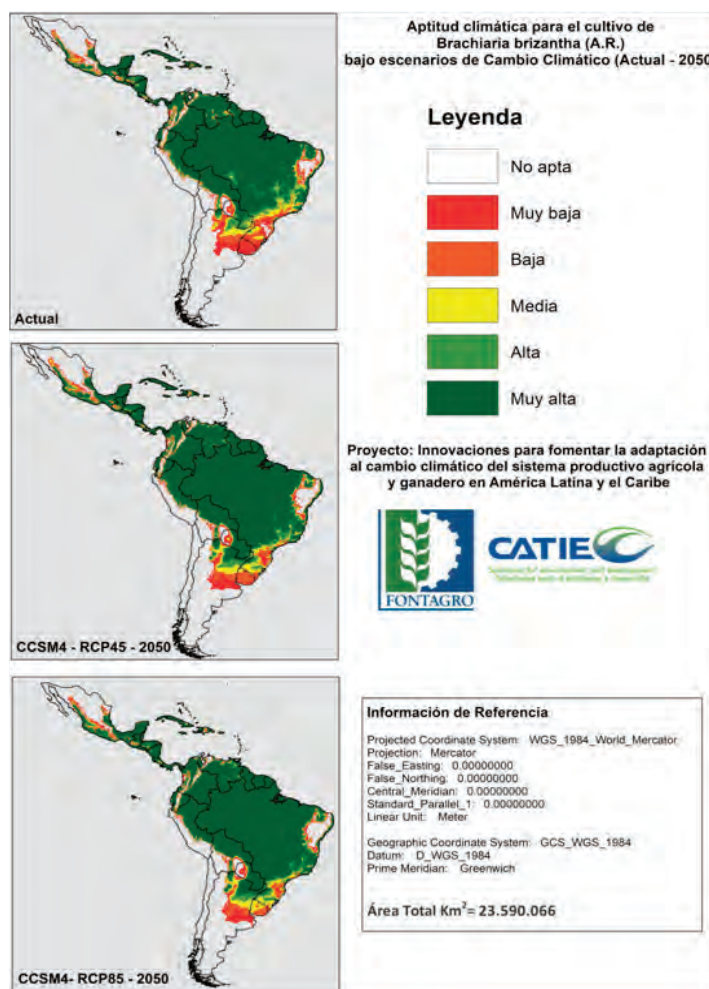
Gramíneas	
<i>Brachiaria brizantha</i>	<i>Lycopersicon esculentum</i>
<i>Lolium perenne L.</i>	<i>Manihot esculenta</i>
Leguminosas	<i>Musa acuminata.</i>
<i>Arachis pintoi</i>	<i>Oryza sativa L. s. Indica</i>
<i>Medicago sativa.L.</i>	<i>Oryza sativa L. s. japonica</i>
<i>Trifolium repens L.</i>	<i>Phaseolus vulgaris</i>
Cultivos	<i>Saccharum officinarum</i>
<i>Ananas comosus (L.) Merr</i>	<i>Solanum tuberosum</i>
<i>Coffea arabica., L.</i>	<i>Sorghum bicolor (L.) Moench</i>
<i>Coffea canephora</i>	<i>Theobroma cacao</i>
<i>Glycine max (L.)</i>	<i>Triticum aestivum</i>
	<i>Zea mays</i>
	<i>Zea mays v. indentata</i>

Para cada cultivo se presenta un mapa comparativo que contrasta la distribución potencial actual, según el modelaje con ECOCROP basado en los parámetros climáticos de temperatura y humedad, con la distribución potencial bajo los dos escenarios modelados de cambio climático para el año 2050. Las diferencias en áreas potenciales se presentan también en forma de cuadros con datos cuantitativos de superficies y en una figura comparativa que facilita visualizar las zonas de ganancias y pérdidas de áreas para cada cultivo.

Para la interpretación correcta de estos resultados de modelaje cabe resaltar que estos datos de distribución potencial, al estar basados en el modelo ECOCROP, consideran los parámetros temperatura y humedad, pero no contemplan el impacto posible de características de suelo, topografía o conflictos con otros sistemas de uso de la tierra. Este nivel de detalle no fue posible considerar en el trabajo presente por el alcance del modelo ECOCROP y las limitantes de información con respecto a estos parámetros.

## 1. APTITUD CLIMÁTICA ACTUAL Y FUTURA PARA BRACHIARIA BRIZANTHA (A.R.).

De acuerdo a los resultados del modelo, se puede observar que a esta especie de Leguminosa le favorecen las condiciones cambiantes del clima, ya que las áreas climáticamente aptas aumentan en el tiempo, sugiriendo las áreas que actualmente se consideran como menos aptas se encuentran en países y regiones más australes como el sur de Brasil, y Argentina, además del norte de México, pero en el 2050 podrían empezar a ser aptas (Figura 1 - Figura 2).



**Figura 1.** Aptitud climática actual y futura para la distribución para *Brachiaria brizantha* en América Latina y el Caribe basados, de acuerdo con el modelo ECOCROP, aplicado a los escenarios RCP 4.5 y RCP 8.5.

Porcentajes de cambio, sugieren que las áreas con mayor aptitud climática son las que tienen a aumentar en el tiempo ya que el porcentaje aumenta en al menos un 5% para el RCP 8,5, lo cual se ratifica en la estimación de ganancias y pérdidas (Cuadro 1 - Cuadro 2).

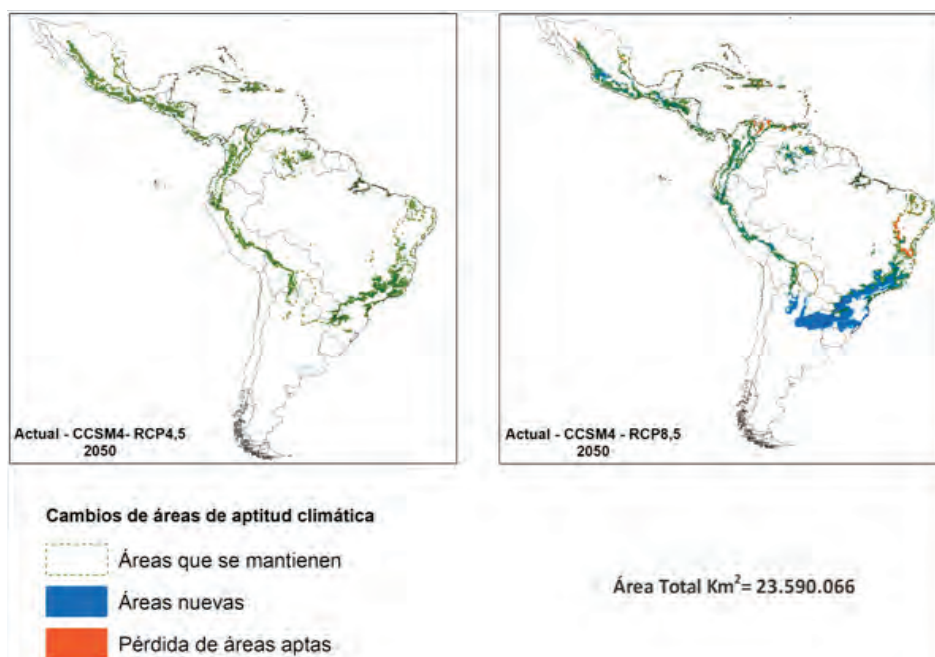
Además, se sugiere que las áreas nuevas se estarían presentando en Argentina y el sur de Brasil (Figura 2).

**Cuadro 1. Porcentaje de área de la aptitud climática para *Brachiaria brizantha* en América Latina y el Caribe, desarrollada bajo los modelos RCP 4,5 y 8,5. Los valores expresados en porcentaje equivalen al área total de ALC.**

	Porcentaje de área Actual	Porcentaje de área para el 2050 RCP 4,5	Porcentaje de área para el 2050 RCP 8,5
No apta	31	30	30
Muy baja	5	3	3
Baja	5	4	4
Media	5	4	4
Alta	6	5	5
Muy alta	54	53	53

**Cuadro 2. Porcentaje de áreas de ganancias, pérdidas y mantenimiento en las categorías de aptitud climática alta y muy alta para *Brachiaria brizantha*, para el 2050 bajo dos RCP's. Los valores expresados en porcentaje equivalen al área total de ALC.**

	Porcentaje de área 2050 RCP 4,5	Porcentaje de área 2050 RCP 8,5
Áreas que se mantienen	58	58
Ganancias	1	2
Pérdidas	2	2

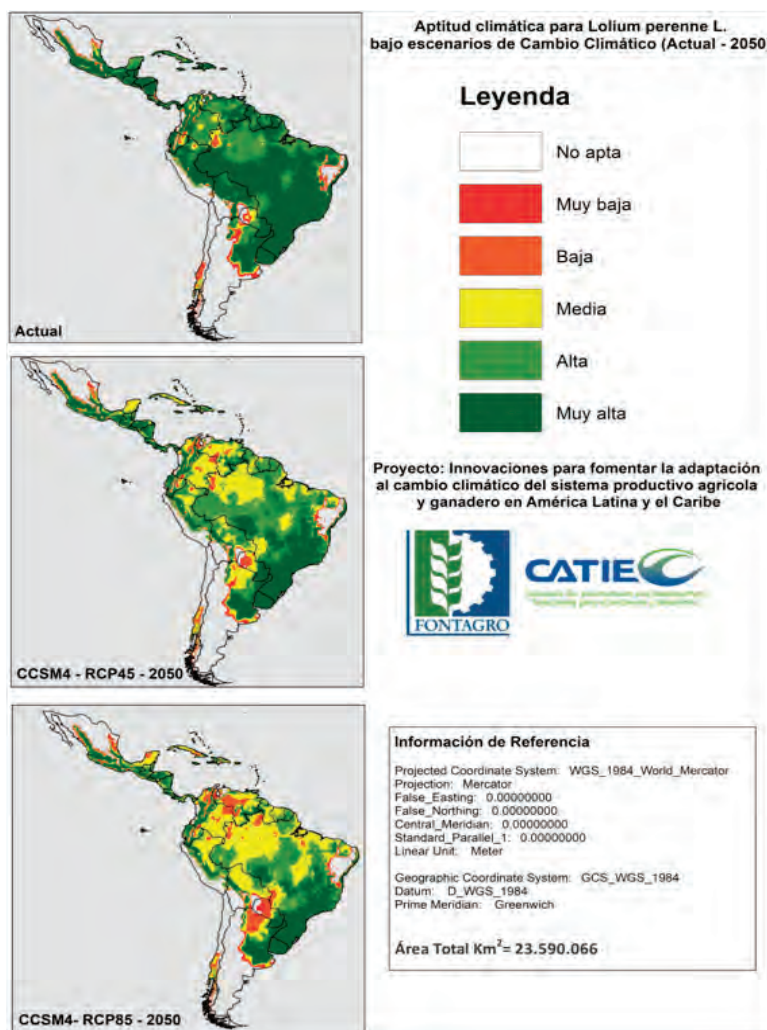


**Figura 2. Distribución del cambio de aptitud climática (ganancias y pérdidas) para *Brachiaria brizantha* en América Latina y el Caribe, desarrollada bajo los modelos RCP 4,5 y 8,5.**



## 2. APTITUD CLIMÁTICA ACTUAL Y FUTURA PARA *LOLIUM PERENNE L.*

Los resultados del modelamiento sugieren que actualmente la región cuenta con más del 50% de la superficie de América latina bajo las categorías de aptitud climática Alta y Muy alta, excepto en países como Argentina y Chile; sin embargo, hacia el 2050 se observa que las categorías de aptitud más alta disminuyen a lo largo de la región (Figura 1 - Cuadro 1).



**Figura 1.** Aptitud climática actual y futura para la distribución para *Lolium perenne* en América Latina y el Caribe basados, de acuerdo con el modelo ECOCROP, aplicado a los escenarios RCP 4.5 y RCP 8.5.

Se sugiere que las áreas con mejor aptitud tienden a disminuir, observándose que la categoría de muy alta desciende más del 20% para los dos RCP's con respecto a la aptitud actual (Cuadro 1).

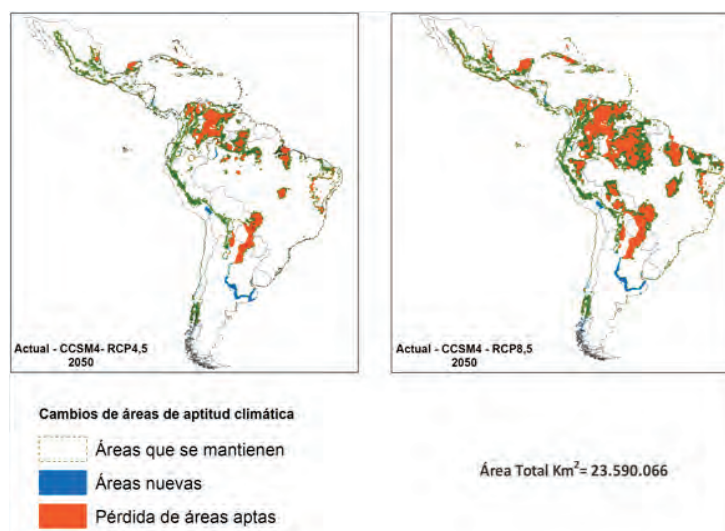
**Cuadro 1. Porcentaje de área de la aptitud climática para *Lolium perenne* en América Latina y el Caribe, desarrollada bajo los modelos RCP 4,5 y 8,5. Los valores expresados en porcentaje equivalen al área total de ALC.**

	Porcentaje de área Actual	Porcentaje de área para el 2050 RCP 4,5	Porcentaje de área para el 2050 RCP 8,5
No apta	26	25	26
Muy baja	2	2	2
Baja	2	4	7
Media	4	19	26
Alta	21	27	20
Muy alta	45	23	19

Se observa que las áreas nuevas se podrían presentar en el norte de Argentina, el sur de Bolivia y el centro de Perú (Figura 2). Las áreas de pérdida de aptitud presentan valores de hasta el 27%, estas se distribuyen principalmente en el oriente colombiano, en Venezuela y Brasil, además de México y el Caribe (Figura 2).

**Cuadro 2. Porcentaje de áreas de ganancias, pérdidas y mantenimiento en las categorías de aptitud climática alta y muy alta para *Lolium perenne*, para el 2050 bajo dos RCP's. Los valores expresados en porcentaje equivalen al área total de ALC.**

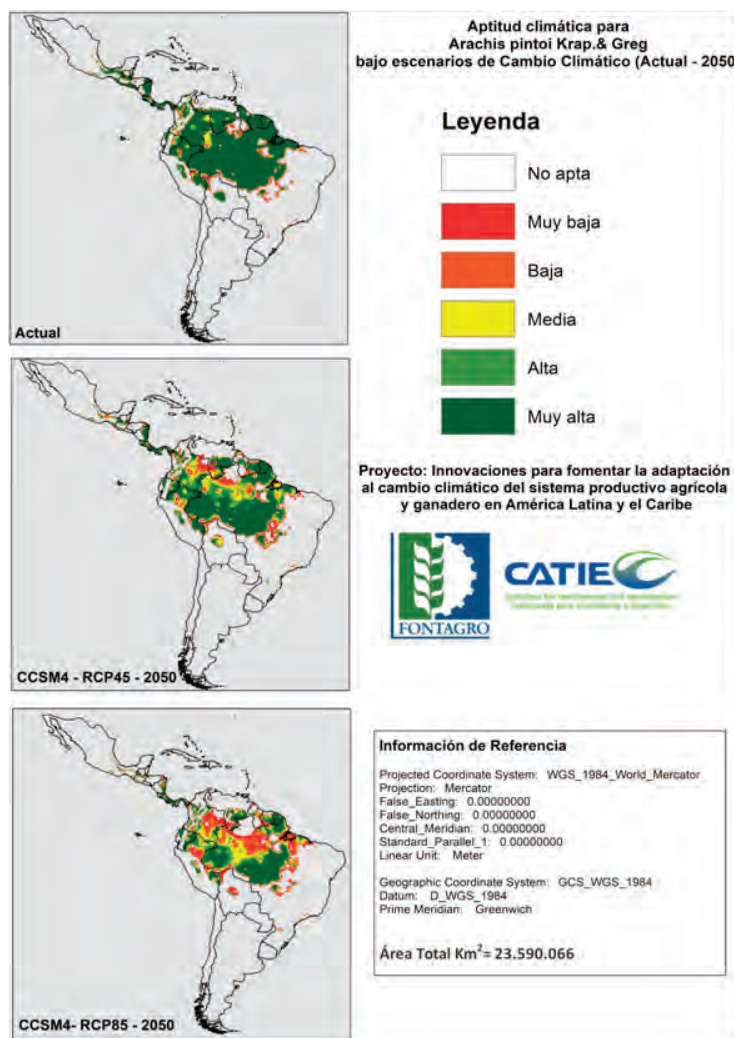
	Porcentaje de área 2050 RCP 4,5	Porcentaje de área 2050 RCP 8,5
Áreas que se mantienen	50	39
Ganancias	1	2
Pérdidas	16	27



**Figura 2. Distribución del cambio de aptitud climática (ganancias y pérdidas) para *Lolium perenne* en América Latina y el Caribe, desarrollada bajo los modelos RCP 4,5 y 8,5.**

### 3. APTITUD CLIMÁTICA ACTUAL Y FUTURA PARA *ARACHIS PINTOI* KRAP & GREG.

Los resultados del modelo sugieren que en el Caribe no se encuentran áreas aptas climáticamente, además se observa que se pierden áreas para los dos RCP's en países Centroamericanos y en la región de México donde actualmente hay aptitud climática (Figura 1).



**Figura 1.** Aptitud climática actual y futura para la distribución para *Lolium perenne* en América Latina y el Caribe basados, de acuerdo con el modelo ECOCROP, aplicado a los escenarios RCP 4.5 y RCP 8.5.

Se observa que se pierden altos porcentajes de área para los dos RCP's, sugieren que para el 4,5 se pierden más condiciones climáticas, además se observa que la aptitud es muy restringida hacia zonas bajas puesto que no se observa distribución en zonas de montaña como en las cordilleras colombianas (Cuadro 1 - Figura 1).

**Cuadro 1. Porcentaje de área de la aptitud climática para *Arachis pintoi*. en ALC, desarrollada bajo los modelos RCP 4,5 y 8,5.**

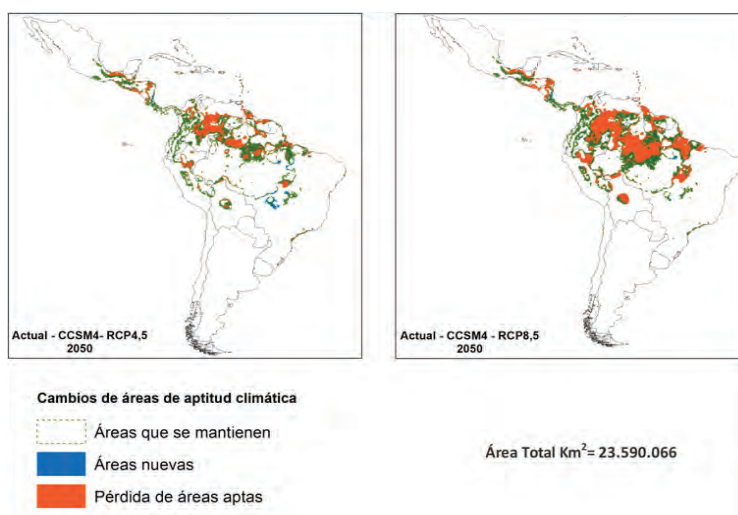
	Porcentaje de área Actual	Porcentaje de área para el 2050 RCP 4,5	Porcentaje de área para el 2050 RCP 8,5
No apta	69	70	74
Muy baja	1	2	4
Baja	1	3	5
Media	2	4	5
Alta	3	6	4
Muy alta	24	14	8

Las estimaciones de cambios sugieren que la tendencia es a la pérdida de áreas aptas (Figura 2). La aptitud promedio de estas áreas se reduce hasta el 13,26% (Cuadro 2), mientras que las áreas que se mantienen aptas se encuentran en valores se mantienen en el 20% (Cuadro 2).

**Cuadro 2. Porcentaje de áreas de ganancias, pérdidas y mantenimiento en las categorías de aptitud climática alta y muy alta para *Arachis pintoi*., para el 2050 bajo dos RCP's. Los valores expresados en porcentaje equivalen al área total de ALC.**

	Porcentaje de área 2050 RCP 4,5	Porcentaje de área 2050 RCP 8,5
Áreas que se mantienen	20	12
Ganancias	3	1
Pérdidas	7	15

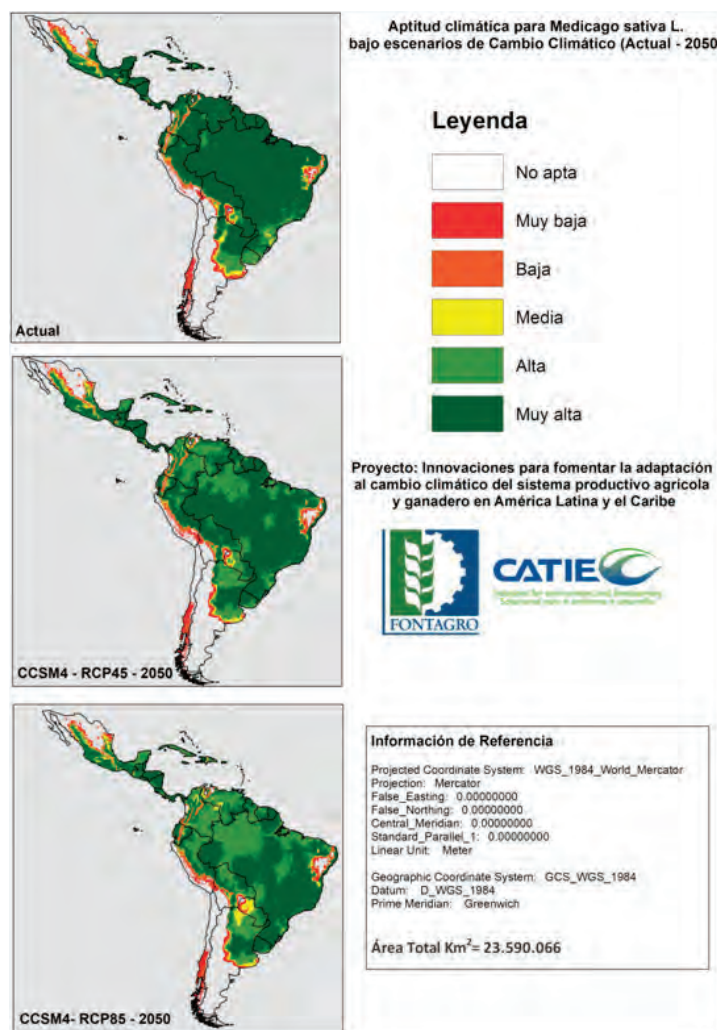
\*Áreas consideradas en Alta y Muy Alta



**Figura 2. Distribución del cambio de aptitud climática (ganancias y pérdidas) para *Arachis pintoi* en ALC, desarrollada bajo los modelos RCP 4,5 y 8,5.**

#### 4. APTITUD CLIMÁTICA ACTUAL Y FUTURA PARA *MEDICAGO SATIVA* L.

La estimación del modelo sugiere que Centroamérica y el Norte de Suramérica cuenta con la mejor aptitud climática para los dos periodos bajo los dos RCP's. De otro lado las áreas no aptas y sin aptitud están localizadas en el Norte de México, el Sur de Chile y algunas zonas de Perú, Bolivia y Argentina. (Figura 1).



**Figura 1.** Aptitud climática actual y futura para la distribución para *Medicago sativa* en América Latina y el Caribe basados, de acuerdo con el modelo ECOCROP, aplicado a los escenarios RCP 4.5 y RCP 8.5.

El cambio de aptitud se presenta principalmente entre las áreas que cuentan con las categorías más altas de aptitud, puesto que el porcentaje de la categoría Muy alta disminuye en el tiempo y bajo los dos RCP's, pasando del 59% al 47 y 36% respectivamente, siendo la categoría de Alta la que incrementa gracias a esa reducción (Cuadro 1).

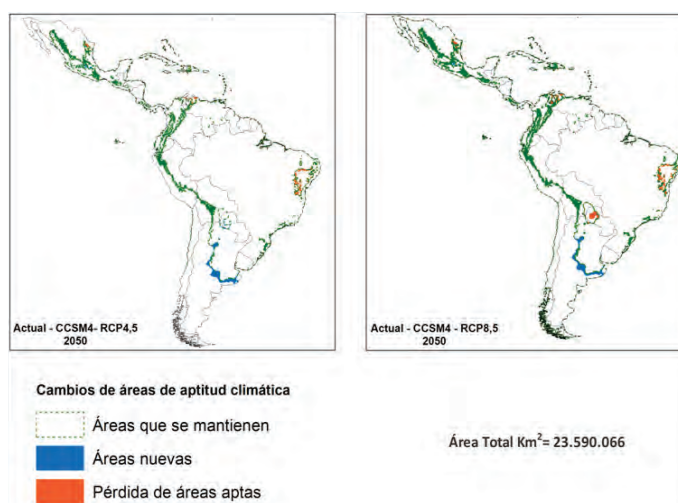
**Cuadro 1. Porcentaje de área de la aptitud climática para *Medicago sativa* en América Latina y el Caribe, desarrollada bajo los modelos RCP 4,5 y 8,5. Los valores expresados en porcentaje equivalen al área total de ALC.**

	Porcentaje de área Actual	Porcentaje de área para el 2050 RCP 4,5	Porcentaje de área para el 2050 RCP 8,5
No apta	21	21	21
Muy baja	3	3	3
Baja	3	3	3
Media	3	3	4
Alta	10	23	32
Muy alta	60	47	36

Con respecto a las áreas que se pierden y se ganan entre periodos, se observa que los cambios en términos ganancias y pérdidas no son drásticos, sin embargo, se observa que es levemente mayor el porcentaje de áreas nuevas con respecto al de las áreas que se pierde (Cuadro 2). Con respecto a la distribución de las áreas nuevas, se observa que se presentan en el nororiente de Brasil, Venezuela y algunas áreas de México para el RCP 4,5; mientras que para el RCP 8,5 se presentan áreas nuevas en Paraguay (Figura 2).

**Cuadro 2. Porcentaje de áreas de ganancias, pérdidas y mantenimiento en las categorías de aptitud climática alta y muy alta para *Medicago sativa*, para el 2050 bajo dos RCP's. Los valores expresados en porcentaje equivalen al área total de ALC.**

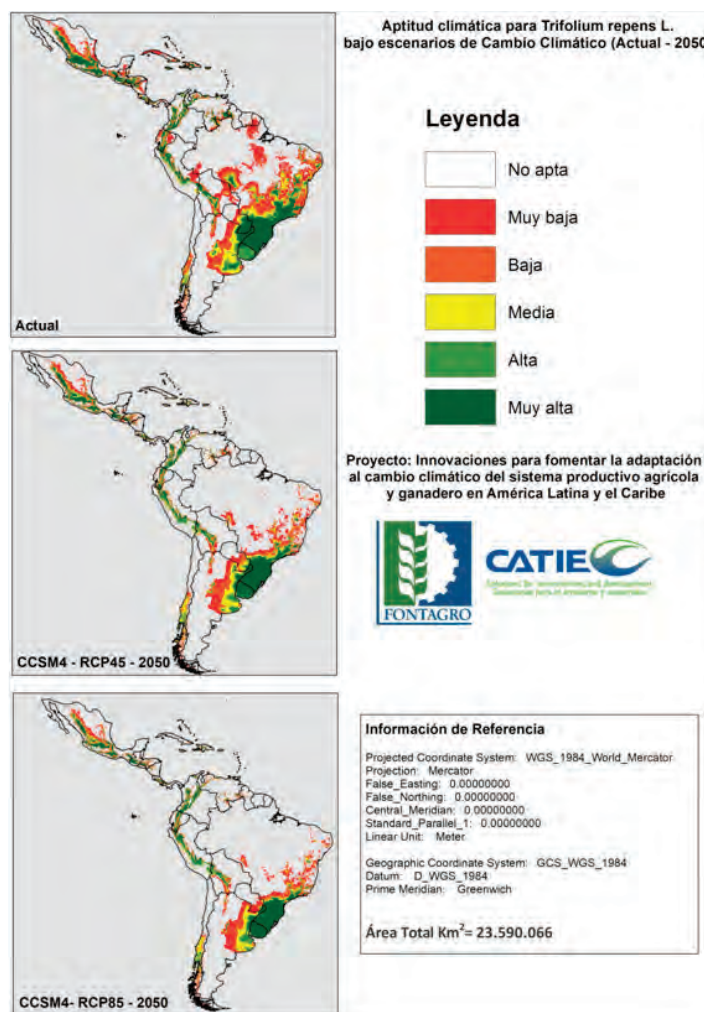
	Porcentaje de área 2050 RCP 4,5	Porcentaje de área 2050 RCP 8,5
Áreas que se mantienen	69	68
Ganancias	2	1
Pérdidas	1	2



**Figura 2. Distribución del cambio de aptitud climática (ganancias y pérdidas) para *Medicago sativa* en América Latina y el Caribe, desarrollada bajo los modelos RCP 4,5 y 8,5.**

## 5. APTITUD CLIMÁTICA ACTUAL Y FUTURA PARA *TRIFOLIUM REPENS* L.

Se observa que las áreas aptas se distribuyen actualmente principalmente en el sur de Brasil, Centro América y el sur oeste de México, mientras que para los dos RCP's en el 2050, se observa que su aptitud va reduciendo inclusive se transforma de Muy baja aptitud a No aptitud, perdiendo áreas desde las categorías más altas de aptitud hasta las más bajas (Figura 1).



**Figura 1.** Aptitud climática actual y futura para la distribución para *Trifolium repens* en América Latina y el Caribe basados, de acuerdo con el modelo ECOCROP, aplicado a los escenarios RCP 4.5 y RCP 8.5.

Los resultados del modelo sugieren cambios con tendencia a pérdida de áreas aptas, observándose como disminuye el porcentaje entre periodos y RCP's, siendo más drásticas las pérdidas para el RCP'8,5, donde el área se reduce desde 10,32% (actual) hasta el 6,92% (RCP 8,5 - 2050), además, se observa el incremento en el porcentaje de áreas no aptas en aproximadamente 16% de área con respecto al actual (Cuadro 1).

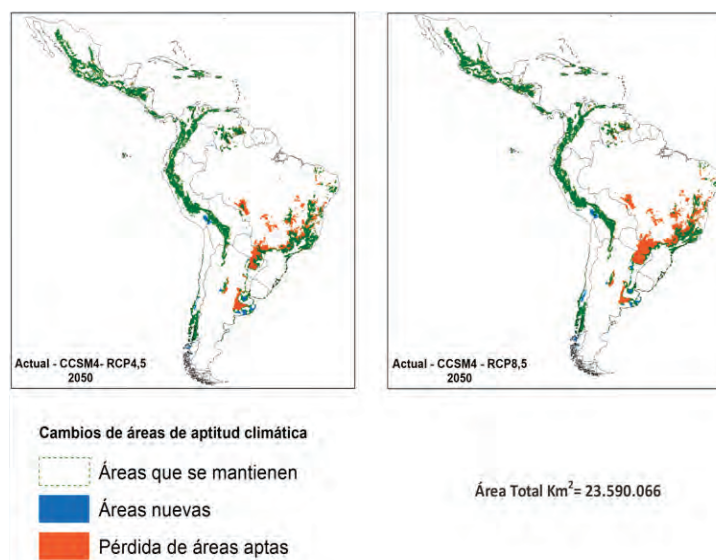
**Cuadro 1. Porcentaje de área de la aptitud climática para *Trifolium repens* América Latina y el Caribe, desarrollada bajo los modelos RCP 4,5 y 8,5. Los valores expresados en porcentaje equivalen al área total de ALC.**

	Porcentaje de área Actual	Porcentaje de área para el 2050 RCP 4,5	Porcentaje de área para el 2050 RCP 8,5
No apta	60	74	76
Muy baja	10	6	5
Baja	8	5	4
Media	7	5	4
Alta	5	3	4
Muy alta	10	8	7

Con respecto a las áreas que se pierden y se ganan entre periodos, se observa que es mayor el porcentaje de pérdida de áreas con aptitud con respecto a las áreas de ganancia (Cuadro 2). De otro lado, se observa que las áreas de pérdida se encuentran localizadas en Paraguay, Brasil Argentina, y algunas zonas del Caribe (Figura 2).

**Cuadro 2. Porcentaje de áreas de ganancias, pérdidas y mantenimiento en las categorías de aptitud climática alta y muy alta para *Trifolium repens*, para el 2050 bajo dos RCP's. Los valores expresados en porcentaje equivalen al área total de ALC.**

	Porcentaje de área 2050 RCP 4,5	Porcentaje de área 2050 RCP 8,5
Áreas que se mantienen	11	11
Ganancias	1	1
Pérdidas	4	4

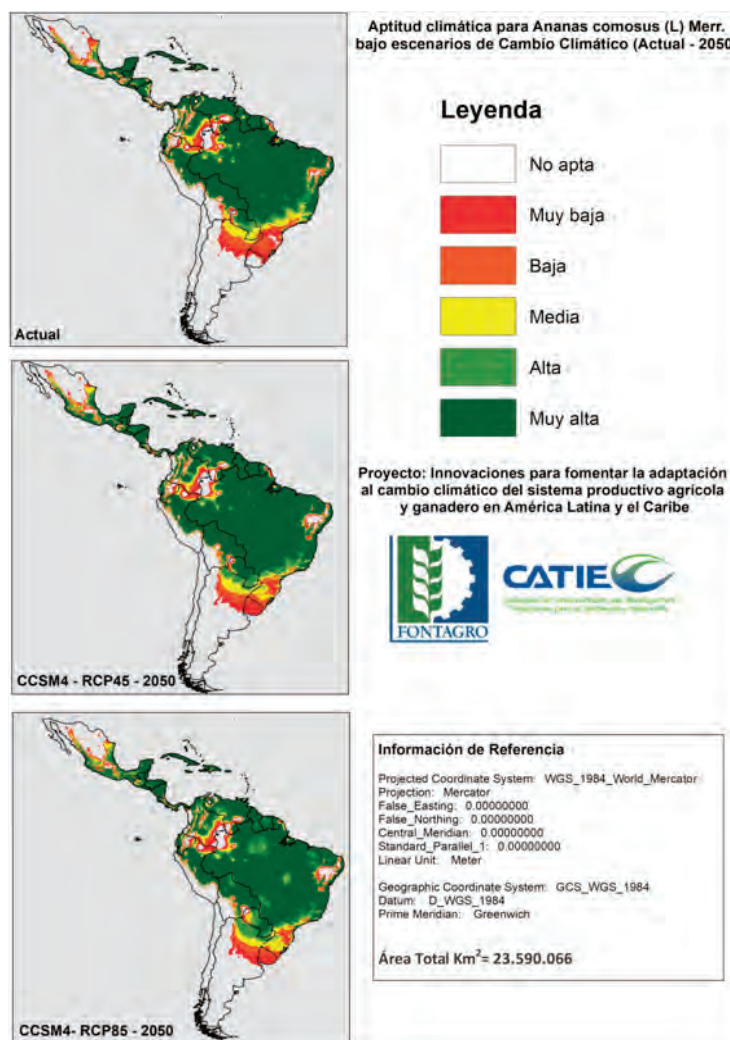


**Figura 2. Distribución del cambio de aptitud climática (ganancias y pérdidas) para *Trifolium repens* en América Latina y el Caribe, desarrollada bajo los modelos RCP 4,5 y 8,5.**



## 6. APTITUD CLIMÁTICA ACTUAL Y FUTURA PARA ANANAS COMUSUS (L) MERR.

A diferencia de los otros cultivos, para la piña se observa que la aptitud climática se mantiene en Latinoamérica a pesar de los cambios en temperatura y precipitación para el 2050, donde se observa que áreas con aptitud media sube de nivel a alta en países como Paraguay y el sur de Brasil (Figura 1).



**Figura 1.** Aptitud climática actual y futura para la distribución para Ananas comosus en América Latina y el Caribe basados, de acuerdo con el modelo ECOCROP, aplicado a los escenarios RCP 4.5 y RCP 8.5.

Se observa el mantenimiento de áreas para las diferentes categorías de aptitud, donde los valores se mantienen en el tiempo, lo que se refleja en el mantenimiento del 43% de área muy apta actualmente y del 43% para el 2050 bajo el RCP 8,5 (Cuadro 1).

**Cuadro 1. Porcentaje de área de la aptitud climática para *Ananas comosus* en América Latina y el Caribe, desarrollada bajo los modelos RCP 4,5 y 8,5. Los valores expresados en porcentaje equivalen al área total de ALC.**

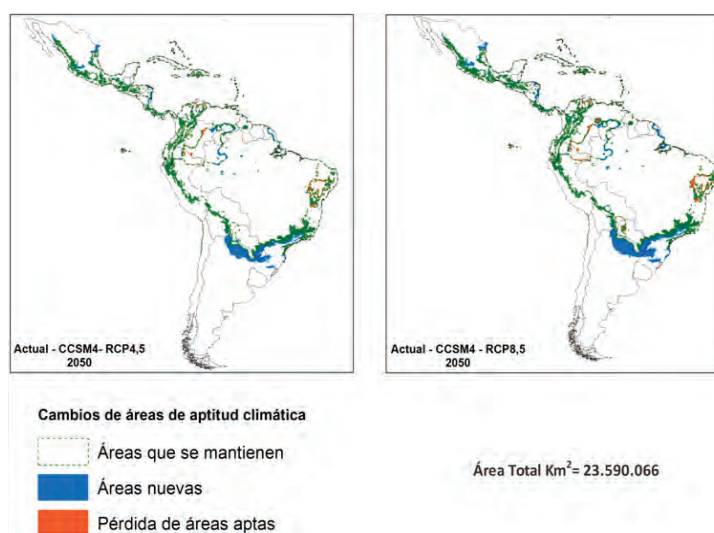
	Porcentaje de área Actual	Porcentaje de área para el 2050 RCP 4,5	Porcentaje de área para el 2050 RCP 8,5
No apta	33	31	30
Muy baja	5	4	4
Baja	6	6	5
Media	6	6	6
Alta	6	7	11
Muy alta	44	47	43

En el cuadro 2, se observa que las ganancias de área o distribución en nuevas áreas son superiores a las pérdidas que se mantienen en el 1% para los dos RCP's.

Con respecto a la distribución las nuevas áreas, el modelo sugiere que se presentan en países como Paraguay, y el norte de México (Figura 2).

**Cuadro 2. Porcentaje de áreas de ganancias, pérdidas y mantenimiento en las categorías de aptitud climática alta y muy alta para *Ananas comosus*, para el 2050 bajo dos RCP's. Los valores expresados en porcentaje equivalen al área total de ALC.**

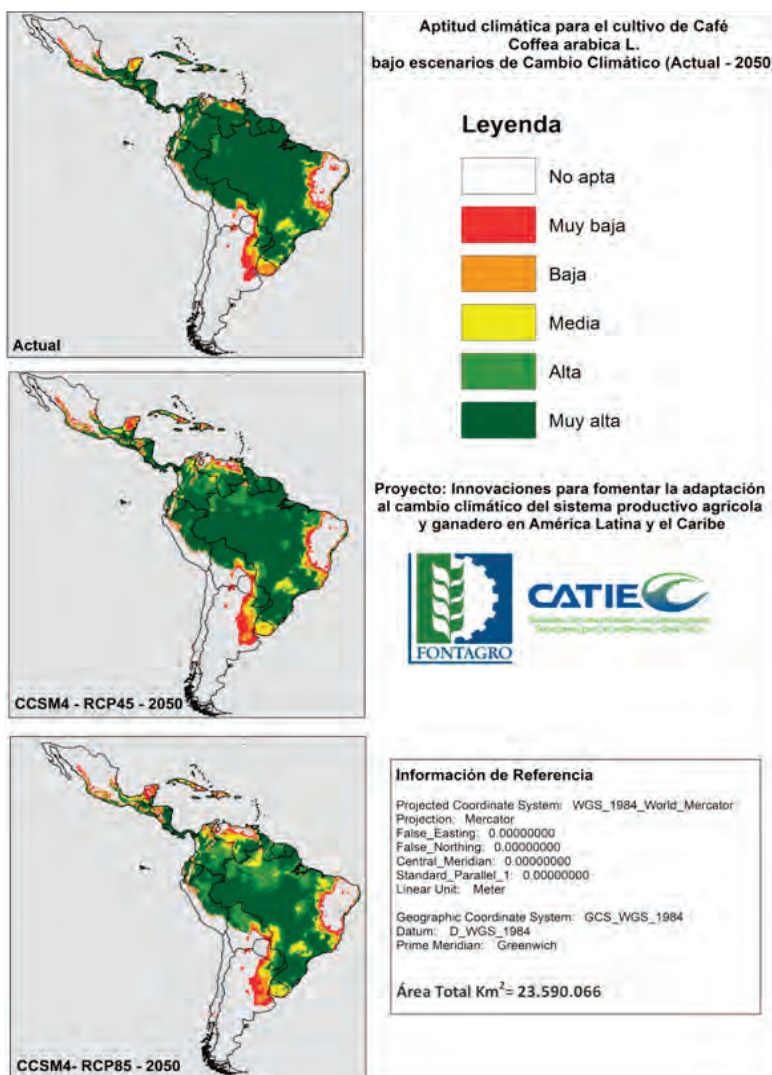
	Porcentaje de área 2050 RCP 4,5	Porcentaje de área 2050 RCP 8,5
Áreas que se mantienen	49	49
Ganancias	5	5
Pérdidas	1	1



**Figura 2. Distribución del cambio de aptitud climática (ganancias y pérdidas) para *Ananas comosus* en América Latina y el Caribe, desarrollada bajo los modelos RCP 4,5 y 8,5.**

## 7. APTITUD CLIMÁTICA ACTUAL Y FUTURA PARA *COFFEA ARABICA*

De acuerdo con los resultados del modelo de aptitud climática desarrollado para el cultivo de café, las áreas más aptas están concentradas en los países de México, Nicaragua, Costa Rica y demás países Centro Americanos, además de Brasil y Colombia (Figura 1).



**Figura 1.** Aptitud climática actual y futura para la distribución para *Coffea arabica* en América Latina y el Caribe basados, de acuerdo con el modelo ECOCROP, aplicado a los escenarios RCP 4.5 y RCP 8.5

Para el 2050, se observa que la tendencia es a la disminución en el tiempo, observándose que del 45% del porcentaje de área actual, desciende al 29% en el RCP 8,5 del 2050 (Cuadro 1).

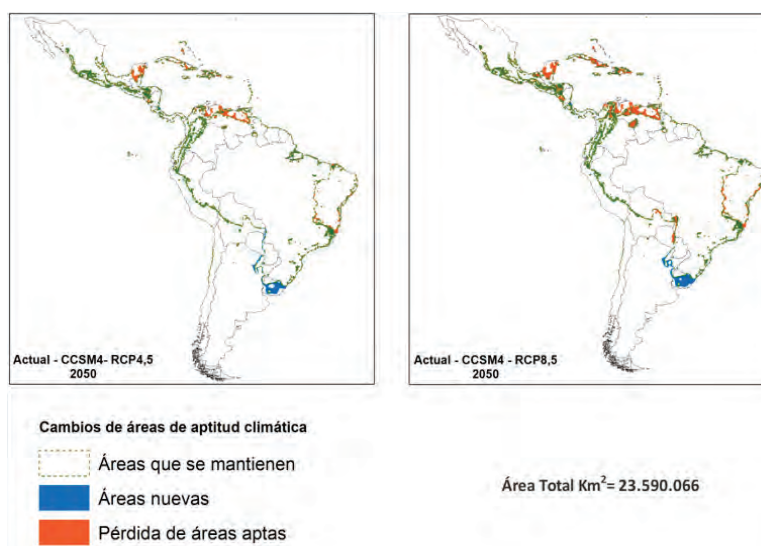
**Cuadro 1. Porcentaje de área de la aptitud climática para *Coffea arabica* en América Latina y el Caribe, desarrollada bajo los modelos RCP 4,5 y 8,5. Los valores expresados en porcentaje equivalen al área total de ALC.**

	Porcentaje de área Actual	Porcentaje de área para el 2050 RCP 4,5	Porcentaje de área para el 2050 RCP 8,5
No apta	37	37	38
Muy baja	4	4	5
Baja	4	4	5
Media	4	5	7
Alta	6	11	17
Muy alta	45	38	29

En todas las regiones productoras de café, la aptitud tiende al descenso en el 2050, algunas áreas, especialmente en la región de Centro América y el Caribe y algunas no cambian de aptitud (Figura 2). La aptitud promedio de estas áreas se reduce has el 3% (Cuadro 2), mientras que las áreas que se mantienen aptas se encuentran en valores que rondan el 50% (Cuadro 2).

**Cuadro 2. Porcentaje de áreas de ganancias, pérdidas y mantenimiento en las categorías de aptitud climática alta y muy alta para *Coffea arabica*, para el 2050 bajo dos RCP's. Los valores expresados en porcentaje equivalen al área total de ALC.**

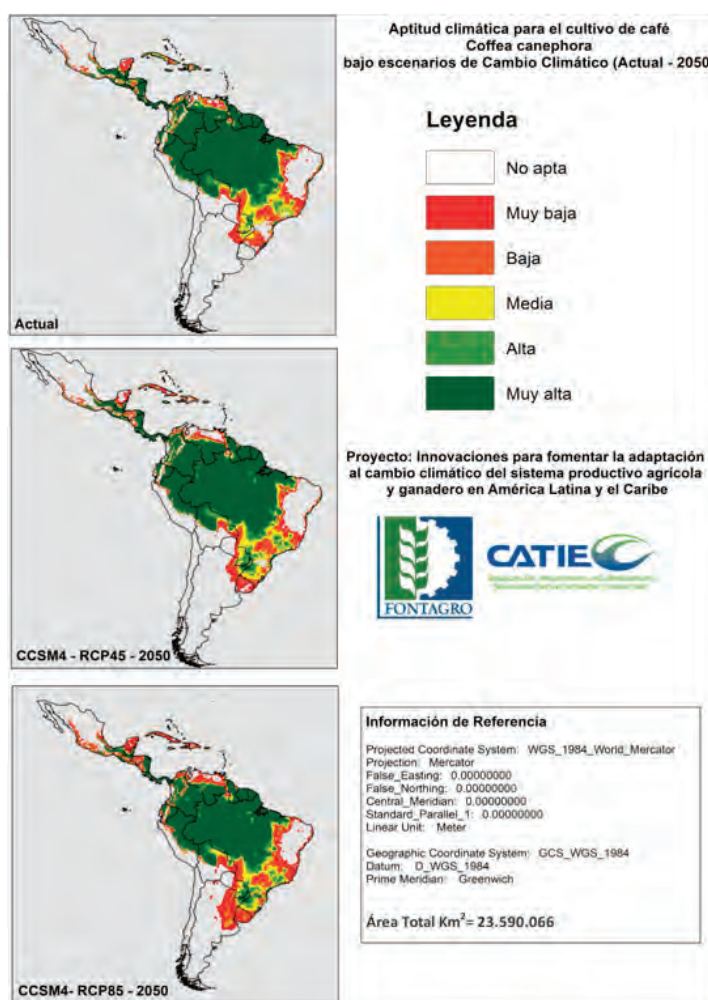
	Porcentaje de área 2050 RCP 4,5	Porcentaje de área 2050 RCP 8,5
Áreas que se mantienen	49	46
Ganancias	2	3
Pérdidas	2	5



**Figura 2. Distribución del cambio de aptitud climática (ganancias y pérdidas) para *Coffea arabica* en América Latina y el Caribe, desarrollada bajo los modelos RCP 4,5 y 8,5**

## 8. APTITUD CLIMÁTICA ACTUAL Y FUTURA PARA EL CULTIVO DE CAFÉ *COFFEA CANEPHORA PIERRE*.

De acuerdo con los resultados del modelo de aptitud climática desarrollado para el cultivo café *C. canephora*, las áreas más aptas están concentradas principalmente en países suramericanos como, Brasil, Colombia, el norte de Perú y Bolivia, además de países centroamericanos como Panamá, Costa Rica, la región Caribe de Nicaragua y la sur de México. Con respecto al Caribe, se observa que su aptitud es principalmente baja y tiende disminuir y casi que desaparecer en relación con el tiempo (Figura 1).



**Figura 1.** Aptitud climática actual y futura para la distribución para *Coffea canephora* en América Latina y el Caribe basados, de acuerdo con el modelo ECOCROP, aplicado a los escenarios RCP 4.5 y RCP 8.5

Para el 2050, se observa que la tendencia es a la disminución en el tiempo, observándose que las áreas con excelente aptitud climática descienden en porcentaje con respecto al RCP 8,5 del 2050 y que este porcentaje de disminución se distribuye en las categorías inferiores como Muy buena, Buena y Baja (Cuadro 1).

**Cuadro 1. Porcentaje de área de la aptitud climática para *Coffea canephora* en América Latina y el Caribe, desarrollada bajo los modelos RCP 4,5 y 8,5. Los valores expresados en porcentaje equivalen al área total de ALC.**

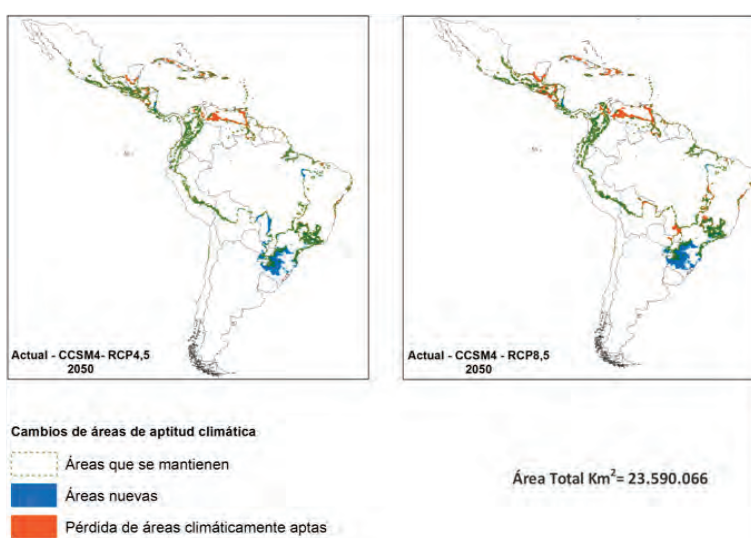
	Porcentaje de área Actual	Porcentaje de área para el 2050 RCP 4,5	Porcentaje de área para el 2050 RCP 8,5
No apta	44	44	45
Muy baja	4	5	5
Baja	6	5	6
Media	6	6	6
Alta	6	6	6
Muy alta	34	34	32

Las regiones donde se presentan las pérdidas de aptitud se encuentran en el norte de Sur América como en Venezuela y unas regiones de Colombia, además del Caribe y centro América (Figura 2), La aptitud promedio de estas áreas se reduce hasta el 3% (Cuadro 2), mientras que las áreas que se mantienen aptas se encuentran en valores que rondan el 38 % (Cuadro 2).

**Cuadro 2. Porcentaje de áreas de ganancias, pérdidas y mantenimiento en las categorías de aptitud climática alta y muy alta para *Coffea canephora*, para el 2050 bajo dos RCP's. Los valores expresados en porcentaje equivalen al área total de ALC.**

	Porcentaje de área 2050 RCP 4,5	Porcentaje de área 2050 RCP 8,5
Áreas que se mantienen	40	38
Ganancias	1	1
Pérdidas	1	2

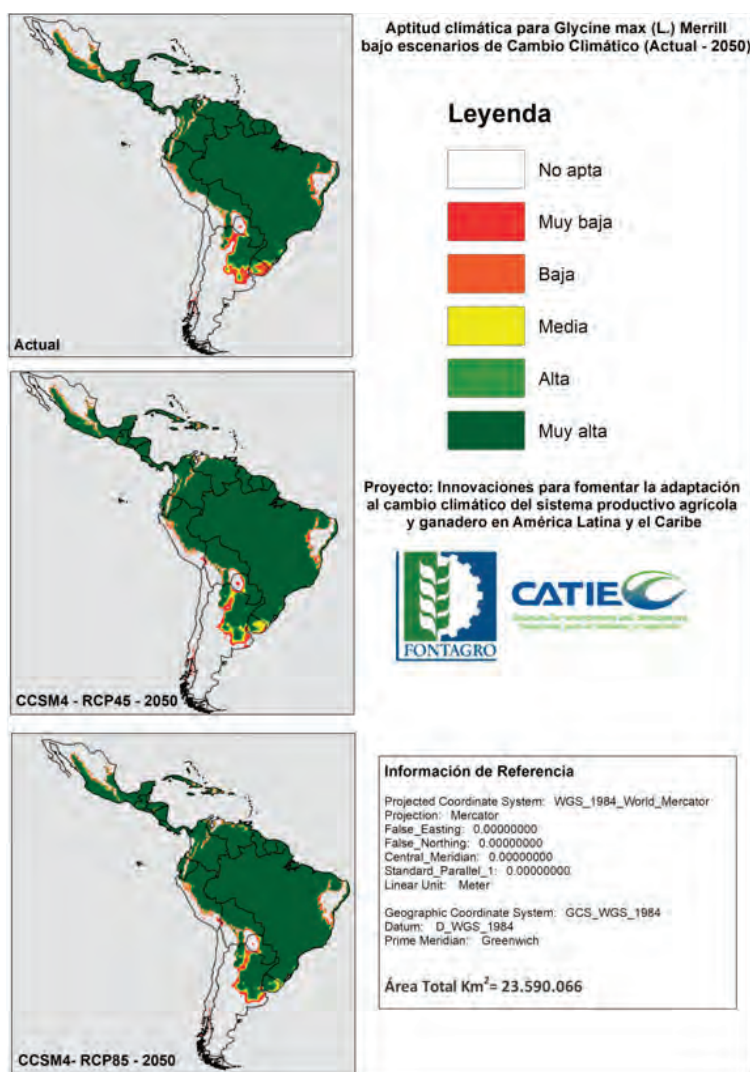
\*Áreas consideradas en Alta y Muy Alta



**Figura 2. Distribución del cambio de aptitud climática (ganancias y pérdidas) para *Coffea canephora* en América Latina y el Caribe, desarrollada bajo los modelos RCP 4,5 y 8,5.**

## 9. APTITUD CLIMÁTICA ACTUAL Y FUTURA PARA *GLYCINE MAX (L.) MERRILL*.

La estimación del modelo sugiere que a excepción de los países Australes es decir del cono sur, el resto de América Latina y el Caribe cuentan con una muy buena aptitud climática para el cultivo de la Soja, de otro lado se observa que el cambio del clima favorece el establecimiento en áreas nuevas principalmente hacia Argentina, Paraguay, Uruguay (Figura 1).



**Figura 1.** Aptitud climática actual y futura para la distribución para *Glycine max* en América Latina y el Caribe basados, de acuerdo con el modelo ECOCROP, aplicado a los escenarios RCP 4.5 y RCP 8.5.

Se observa que no hay cambios significativos y se mantienen, los porcentajes entre periodos, sin embargo, la categoría con mayor aptitud climática aumenta en 1% para los RCP's (Cuadro 1).

**Cuadro 1. Porcentaje de área de la aptitud climática para *Glycine max* América Latina y el Caribe, desarrollada bajo los modelos RCP 4,5 y 8,5. Los valores expresados en porcentaje equivalen al área total de ALC.**

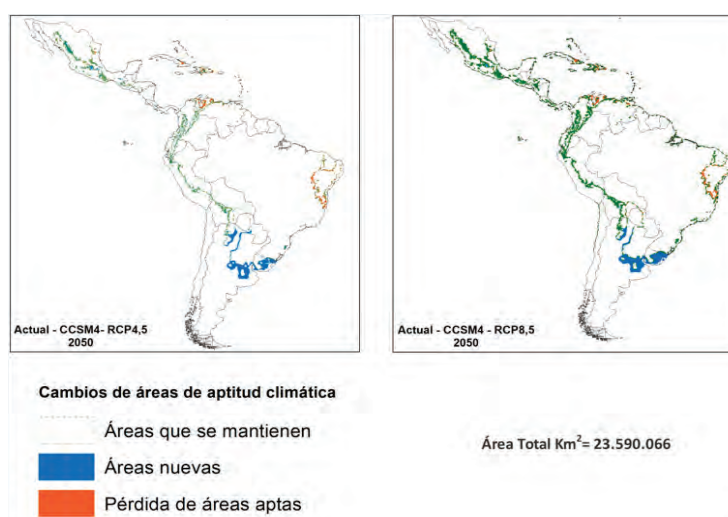
	Porcentaje de área Actual	Porcentaje de área para el 2050 RCP 4,5	Porcentaje de área para el 2050 RCP 8,5
No apta	29	29	29
Muy baja	2	2	2
Baja	2	2	2
Media	2	2	2
Alta	3	2	2
Muy alta	62	63	63

Con respecto a las áreas que se pierden y se ganan entre periodos, se observa que los cambios en términos ganancias y pérdidas no son drásticos, sin embargo, se observa que es levemente mayor el porcentaje de áreas nuevas con respecto al de las áreas que se pierde (Cuadro 2).

Con respecto a la distribución de las áreas nuevas, se observa que se presentan en el nororiente hacia el sur de Brasil, y algunas zonas Paraguay, Uruguay (Figura 2).

**Cuadro 2. Porcentaje de áreas de ganancias, pérdidas y mantenimiento en las categorías de aptitud climática alta y muy alta para *Glycine max*, para el 2050 bajo dos RCP's. Los valores expresados en porcentaje equivalen al área total de ALC.**

	Porcentaje de área 2050 RCP 4,5	Porcentaje de área 2050 RCP 8,5
Áreas que se mantienen	64	64
Ganancias	2	2
Pérdidas	1	1

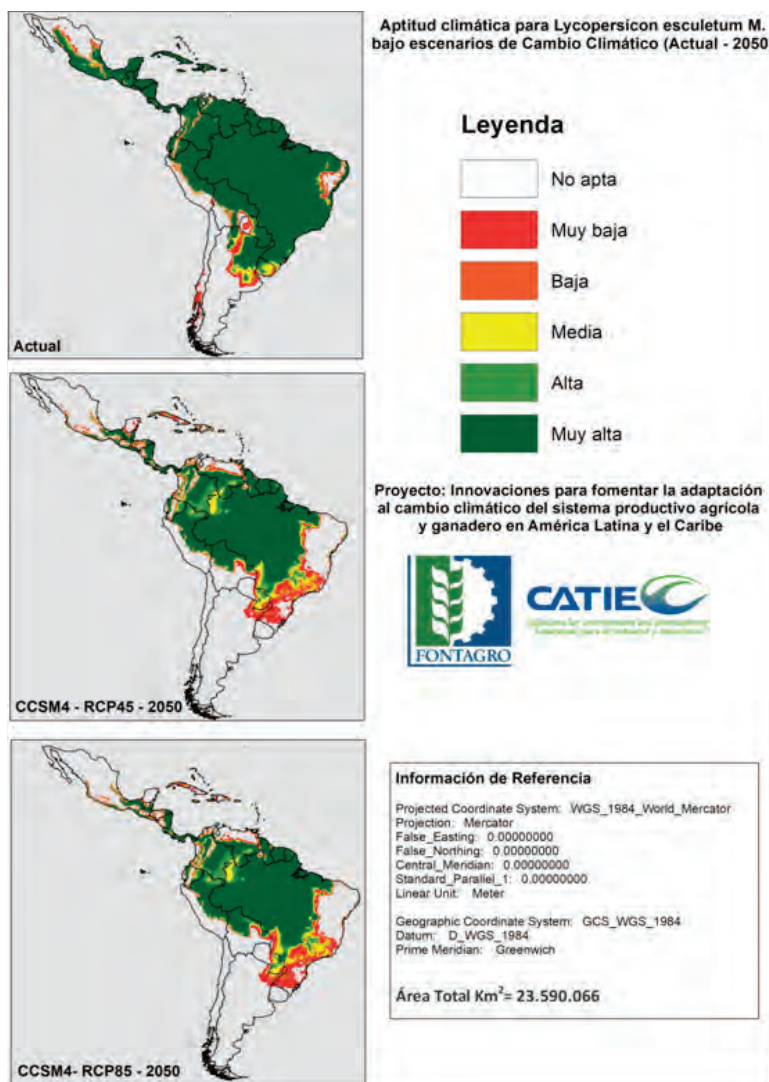


**Figura 2. Distribución del cambio de aptitud climática (ganancias y pérdidas) para *Glycine max* en América Latina y el Caribe, desarrollada bajo los modelos RCP 4,5 y 8,5.**



## 10. APTITUD CLIMÁTICA ACTUAL Y FUTURA PARA *LYCOPERSICON ESCULETUM M.*

La estimación del modelo sugiere que hay una tendencia alta a la disminución de áreas aptas para el cultivo del tomate, donde hay notables reducciones en el Caribe, México, Colombia y Brasil. Además, se observa que para el periodo actual se estiman áreas con muy baja aptitud en Chile, pero esta posibilidad desaparece para el 2050 bajo los dos Rcp's (Figura 1).



**Figura 1.** Aptitud climática actual y futura para la distribución para *Lycopersicon esculentum* en América Latina y el Caribe basados, de acuerdo con el modelo ECOCROP, aplicado a los escenarios RCP 4.5 y RCP 8.5.

Se observa un fuerte descenso del porcentaje de áreas aptas, puesto que el modelo estima que se perderán alrededor del 30% entre el periodo actual y el 2050 en la categoría con mejor aptitud climática (Muy alta) para el cultivo del tomate (Cuadro 1).

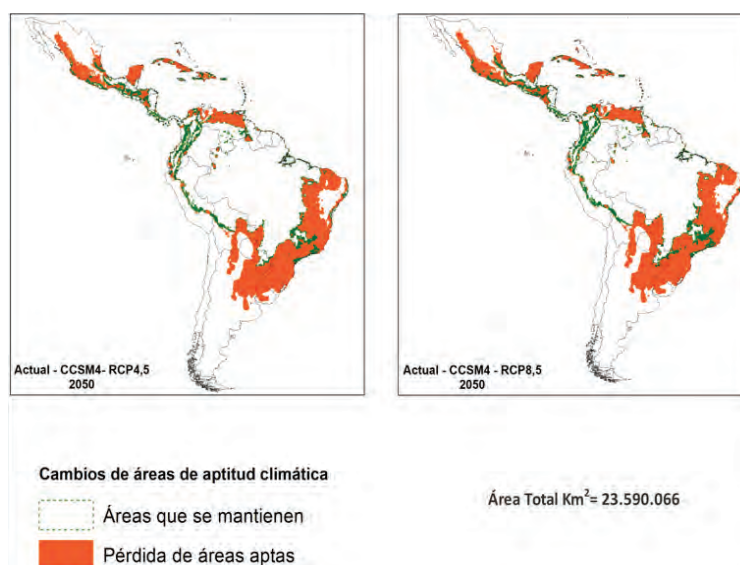
**Cuadro 1. Porcentaje de área de la aptitud climática para *Lycopersicon esculentum* América Latina y el Caribe, desarrollada bajo los modelos RCP 4,5 y 8,5. Los valores expresados en porcentaje equivalen al área total de ALC.**

	Porcentaje de área Actual	Porcentaje de área para el 2050 RCP 4,5	Porcentaje de área para el 2050 RCP 8,5
No apta	26	48	48
Muy baja	3	4	4
Baja	3	4	4
Media	3	5	5
Alta	3	7	6
Muy alta	62	32	32

En el cuadro 2, se observa que las pérdidas de áreas son bastantes altas con un 26 y 27%, mientras que las áreas nuevas no se presentan en la modelación. Con respecto a la distribución de las áreas perdidas, se observa que se presentan en el e Brasil, Paraguay, Uruguay, Venezuela, el Caribe y algunas áreas de México (Figura 2).

**Cuadro 2. Porcentaje de áreas de ganancias, pérdidas y mantenimiento en las categorías de aptitud climática alta y muy alta para *Lycopersicon esculentum*, para el 2050 bajo dos RCP's. Los valores expresados en porcentaje equivalen al área total de ALC.**

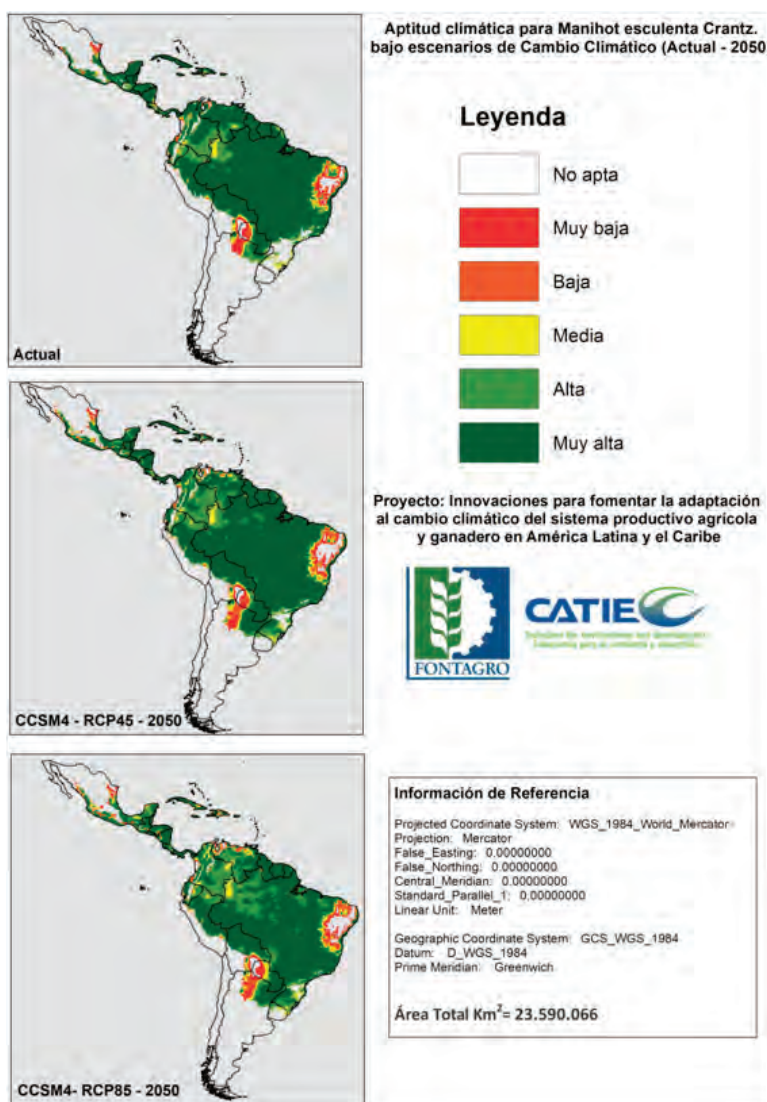
	Porcentaje de área 2050 RCP 4,5	Porcentaje de área 2050 RCP 8,5
Áreas que se mantienen	39	38
Ganancias	0	0
Pérdidas	26	27



**Figura 2. Distribución del cambio de aptitud climática (ganancias y pérdidas) para *Lycopersicon esculentum* en América Latina y el Caribe, desarrollada bajo los modelos RCP 4,5 y 8,5.**

## 11. APTITUD CLIMÁTICA ACTUAL Y FUTURA PARA MANIHOT ESCULENTA CRANTZ

El modelo sugiere la mayoría de los países septentrionales cuentan con aptitud climática para el cultivo de la yuca, y sus áreas disminuyen gradualmente entre categorías, como ejemplo se puede observar el sur oriente de Colombia y el Norte de Brasil, donde hay una notoria disminución de la categoría Muy alta a Alta (Figura 1).



**Figura 1.** Aptitud climática actual y futura para la distribución para Manihot esculenta en América Latina y el Caribe basados, de acuerdo con el modelo ECOCROP, aplicado a los escenarios RCP 4.5 y RCP 8.5.

Se observa que no hay cambios significativos y se mantienen, los porcentajes entre periodos, sin embargo, la categoría con mayor aptitud climática disminuye en un 6% para el RCP's 8,5, y se observa que la reducción de porcentaje se presenta principalmente de la Categoría Muy alta a la de Alta (Cuadro 1).

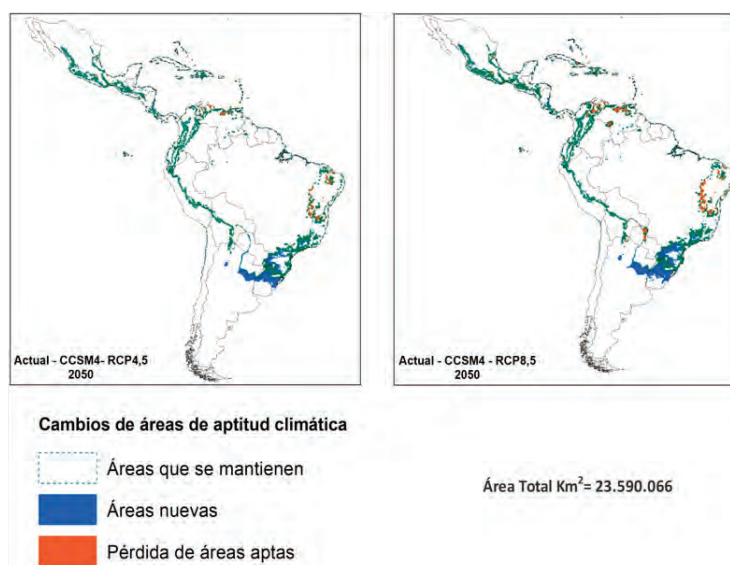
**Cuadro 1. Porcentaje de área de la aptitud climática para *Manihot esculenta* América Latina y el Caribe, desarrollada bajo los modelos RCP 4,5 y 8,5. Los valores expresados en porcentaje equivalen al área total de ALC.**

	Porcentaje de área Actual	Porcentaje de área para el 2050 RCP 4,5	Porcentaje de área para el 2050 RCP 8,5
No apta	38	35	35
Muy baja	2	2	2
Baja	2	2	3
Media	3	3	4
Alta	9	10	16
Muy alta	47	47	41

Con respecto a las áreas que se pierden y se ganan entre periodos, se observa que son más altos los porcentajes de áreas nuevas con respecto a las áreas de pérdida (Cuadro 2). Dichos porcentajes de ganancia se distribuyen hacia países como el Norte de Argentina, Paraguay y Uruguay (Figura 2).

**Cuadro 2. Porcentaje de áreas de ganancias, pérdidas y mantenimiento en las categorías de aptitud climática alta y muy alta para *Manihot esculenta*, para el 2050 bajo dos RCP's. Los valores expresados en porcentaje equivalen al área total de ALC.**

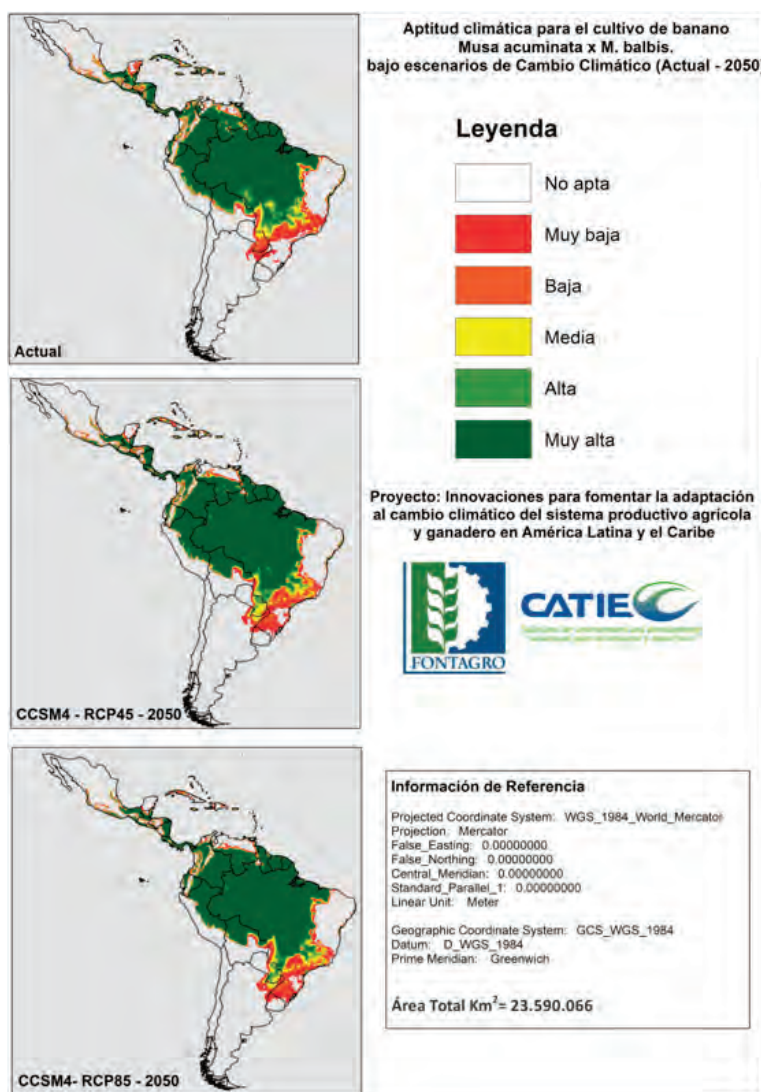
	Porcentaje de área 2050 RCP 4,5	Porcentaje de área 2050 RCP 8,5
Áreas que se mantienen	55	50
Ganancias	2	7
Pérdidas	1	6



**Figura 2. Distribución del cambio de aptitud climática (ganancias y pérdidas) para *Manihot esculenta* en América Latina y el Caribe, desarrollada bajo los modelos RCP 4,5 y 8,5.**

## 12. APTITUD CLIMÁTICA ACTUAL PARA *MUSA ACUMINATA*

Se observa que las áreas aptas se distribuyen actualmente en las áreas septentrionales de América Latina, así como en el Caribe, mientras que vas reduciendo su aptitud para los dos RCP's en el 2050, observándose que la región del Caribe pierde su aptitud en la mayoría de la superficie del Caribe y al sur oriente de México (Figura 1).



**Figura 1.** Aptitud climática actual y futura para la distribución para el cultivo de banano *Musa acuminata*. en América Latina y el Caribe basados, de acuerdo con el modelo ECOCROP, aplicado a los escenarios RCP 4.5 y RCP 8.5.

Se observan cambios entre los periodos, y las reducciones se observan principalmente en las categorías de Muy baja y Baja y se incrementan en la categoría de Alta y Muy alta (Cuadro 1), sin embargo, en la Figura 1, se observa que áreas de Muy alta se pierden en el Caribe.

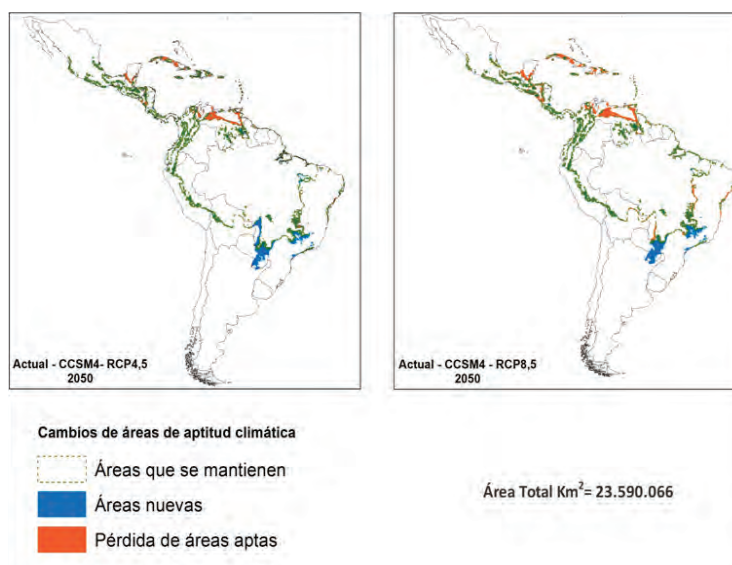
**Cuadro 1. Porcentaje de área de la aptitud climática para el cultivo de banano *Musa acuminata*, en América Latina y el Caribe, desarrollada bajo los modelos RCP 4,5 y 8,5. Los valores expresados en porcentaje equivalen al área total de ALC.**

	Porcentaje de área Actual	Porcentaje de área para el 2050 RCP 4,5	Porcentaje de área para el 2050 RCP 8,5
No apta	46	47	48
Muy baja	4	4	4
Baja	4	4	4
Media	4	4	4
Alta	6	4	4
Muy alta	36	37	37

Las estimaciones de cambios sugieren que la tendencia es a la pérdida entre categorías inferiores (Muy baja, Baja) (Figura 2). La aptitud promedio de estas áreas se reduce hasta el 3% (Cuadro 2), mientras que las áreas que se mantienen aptas se encuentran en valores se mantienen en el 40% (Cuadro 2).

**Cuadro 2. Porcentaje de áreas de ganancias, pérdidas y mantenimiento en las categorías de aptitud climática alta y muy alta para el cultivo de banano *Musa acuminata*, para el 2050 bajo dos RCP's. Los valores expresados en porcentaje equivalen al área total de ALC.**

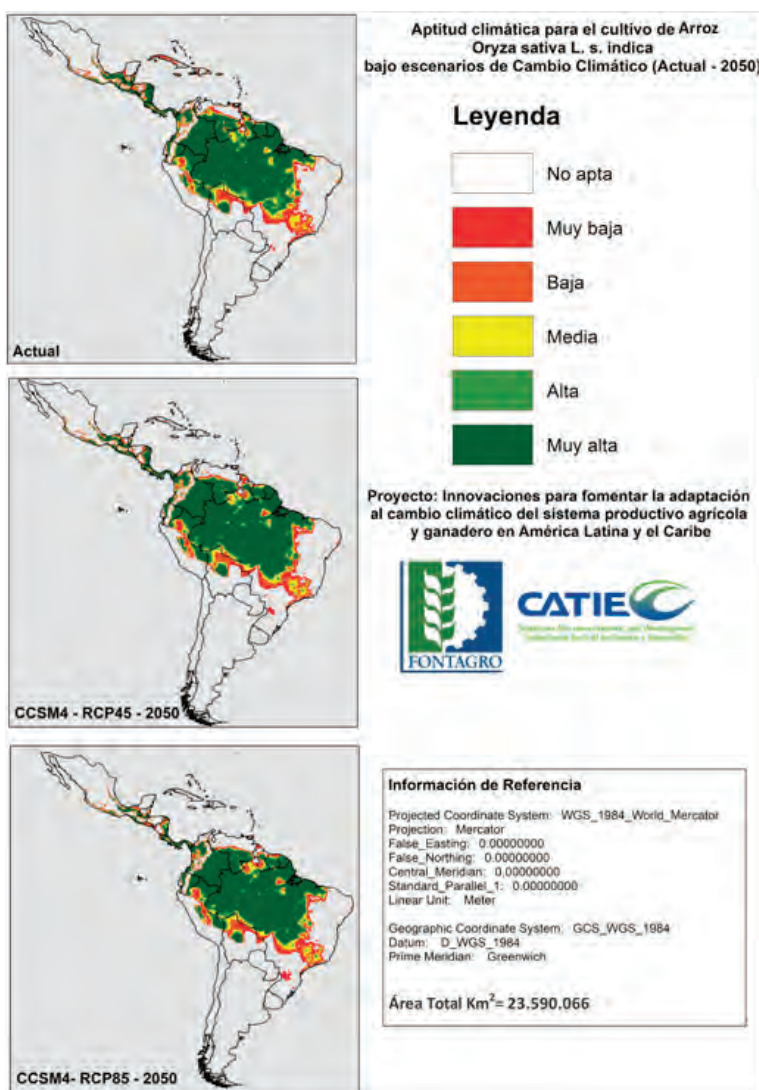
	Porcentaje de área 2050 RCP 4,5	Porcentaje de área 2050 RCP 8,5
Áreas que se mantienen	40	40
Ganancias	1	1
Pérdidas	2	2



**Figura 2. Distribución del cambio de aptitud climática (ganancias y pérdidas) para *Musa acuminata* en América Latina y el Caribe, desarrollada bajo los modelos RCP 4,5 y 8,5**

### 13. APTITUD CLIMÁTICA ACTUAL Y FUTURA *ORYZA SATIVA L. S. INDICA*

Los resultados del modelo sugieren que para el cultivo de arroz no presentan cambios en las áreas potenciales de distribución basados en la actitud climática para el 2050 bajo los dos RCP's, (Figura 1).



**Figura 1.** Aptitud climática actual y futura al 2050 para la distribución potencial de arroz paddy (*Oryza sativa L. s. Indica*) en América Latina y el Caribe de acuerdo con el modelo ECOCROP aplicado a los escenarios RCP 4.5 y RCP 8.5.

Se observa una leve disminución de área para las áreas que se encuentran bajo la categoría de Muy alta, principalmente en la región Centroamericana y su porcentaje se distribuye hasta la categoría con muy baja aptitud climática (Cuadro 1 – Figura 1).

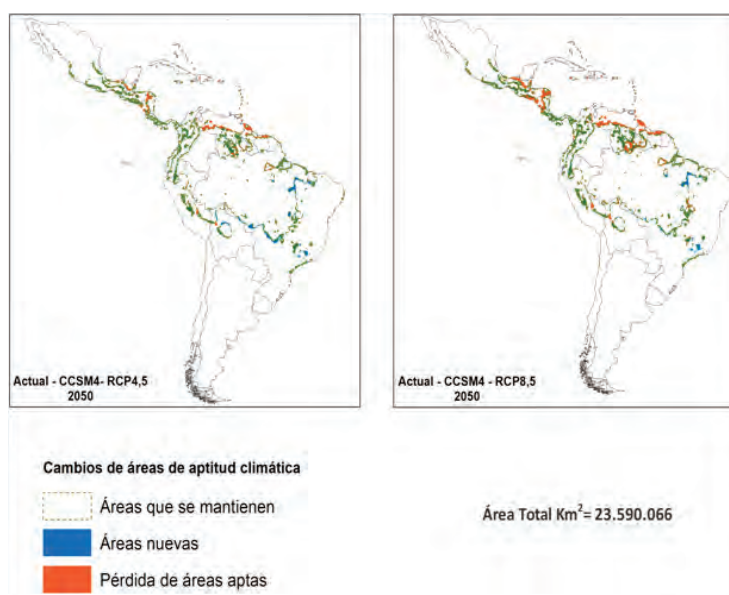
**Cuadro 1. Porcentaje de área de la aptitud climática para el cultivo de arroz paddy *Oryza sativa L. s. indica* en América Latina y el Caribe, desarrollada bajo los modelos RCP 4,5 y 8,5. Los valores expresados en porcentaje equivalen al área total de ALC.**

	Porcentaje de área Actual	Porcentaje de área para el 2050 RCP 4,5	Porcentaje de área para el 2050 RCP 8,5
No apta	56	58	58
Muy baja	3	3	3
Baja	4	4	4
Media	4	4	4
Alta	5	4	4
Muy alta	28	27	27

Las estimaciones de cambios sugieren que la tendencia es a la pérdida de áreas aptas (Figura 2). La aptitud promedio de estas áreas se reduce hasta el 3% (Cuadro 2), mientras que las áreas que se mantienen aptas se encuentran en valores se mantienen en el 1% (Cuadro 2).

**Cuadro 2. Áreas que se mantienen, se pierden, o se ganan, en las categorías de aptitud alta y muy alta para cultivar arroz paddy (*Oryza sativa L. s. Indica*), para el 2050 bajo dos RCP's. Los valores son porcentajes de la superficie total terrestre de America Latina y el Caribe.**

	Porcentaje de área 2050 RCP 4,5	Porcentaje de área 2050 RCP 8,5
Áreas que se mantienen	31	30
Ganancias	1	1
Pérdidas	2	2

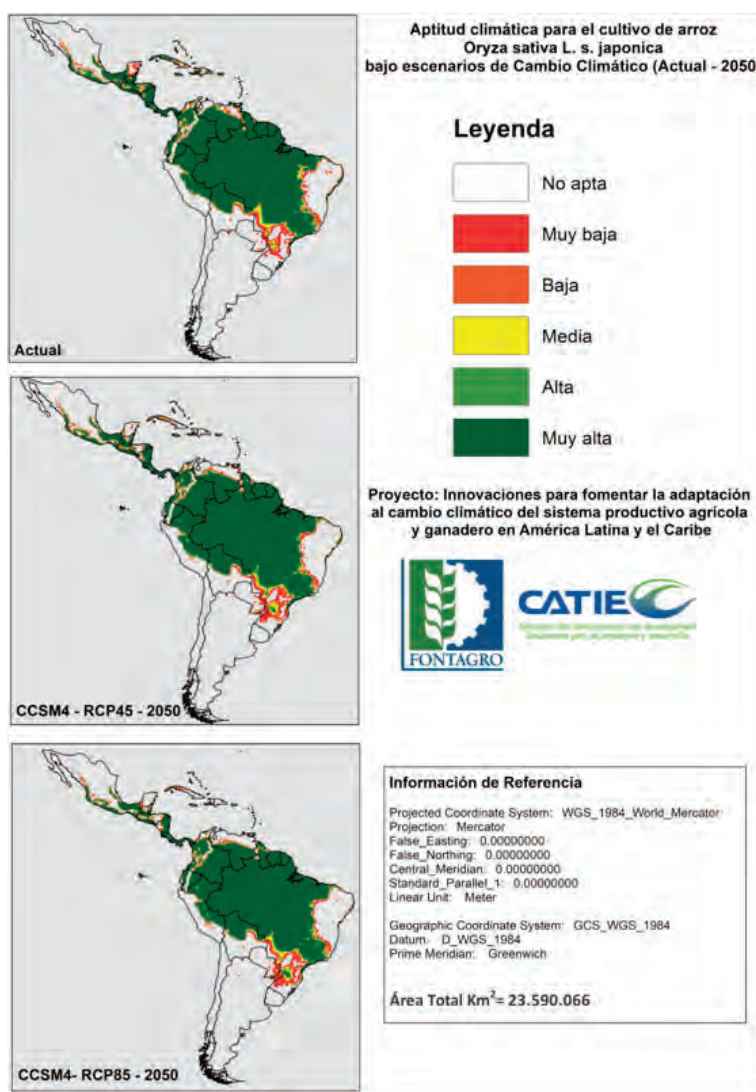


**Figura 2. Distribución del cambio de aptitud climática (ganancias y pérdidas) para el cultivo de arroz paddy *Oryza sativa L. s. indica* en América Latina y el Caribe.**



## 14. APTITUD CLIMÁTICA ACTUAL Y FUTURA PARA EL CULTIVO DE ARROZ *ORYZA SATIVA* L. S. JAPONICA

Los resultados del modelo sugieren que la tendencia es a disminuir las áreas con muy alta aptitud climática, como en la región del Caribe, mientras para América Latina se mantienen las áreas (Figura 1).



**Figura 1.** Aptitud climática actual y futura para la distribución del cultivo de arroz *Oryza sativa* L. s. japonica en América Latina y el Caribe, de acuerdo con el modelo ECOCROP, aplicado a los escenarios RCP 4.5 y RCP 8.5.

La disminución de áreas de aptitud climática para este cultivo, bajo los RCP modelados fue mínima (Cuadro 1), es decir que las áreas se mantienen para el desarrollo de este cultivo.

**Cuadro 1. Porcentaje de área de la aptitud climática para el cultivo de arroz *Oryza sativa L. s. japonica* en América Latina y el Caribe, desarrollada bajo los modelos RCP 4,5 y 8,5. Los valores expresados en porcentaje equivalen al área total de ALC.**

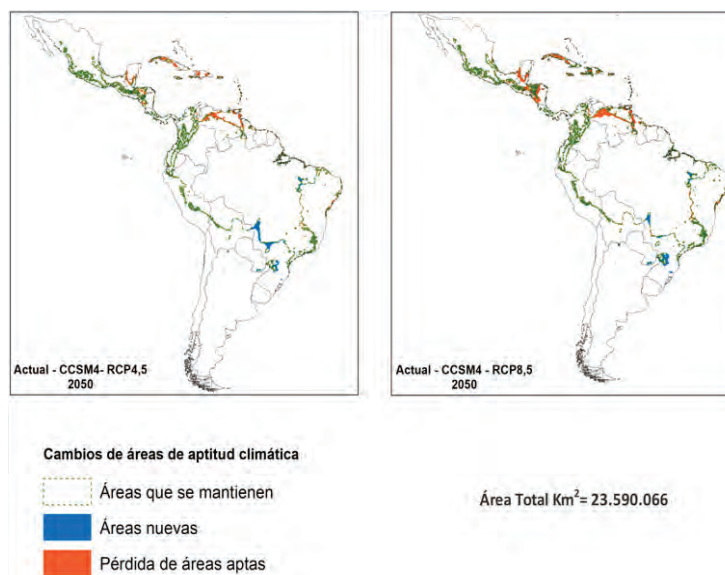
	Porcentaje de área Actual	Porcentaje de área para el 2050 RCP 4,5	Porcentaje de área para el 2050 RCP 8,5
No apta	48	49	50
Muy baja	2	3	3
Baja	2	2	3
Media	2	2	2
Alta	2	2	2
Muy alta	44	42	41

Se estima que las áreas pérdidas para este cultivo tienen un porcentaje del 2,5% para el escenario pesimista (RCP 8,5), mientras que registran un porcentaje de 2 % para el escenario optimista (RCP 4,5) - (Cuadro 2). Dichos porcentajes de pérdidas se encuentran en los países de Venezuela, en la región Caribe y el sur de México (Figura 2).

**Cuadro 2. Porcentaje de áreas de ganancias, pérdidas y mantenimiento del cultivo de arroz *Oryza sativa L. s. japonica*, para el 2050 bajo dos RCP´s. Los valores expresados en porcentaje equivalen al área total de ALC.**

	Porcentaje de área 2050 RCP 4,5	Porcentaje de área 2050 RCP 8,5
Áreas que se mantienen	44	43
Ganancias	1	1
Pérdidas	2	3

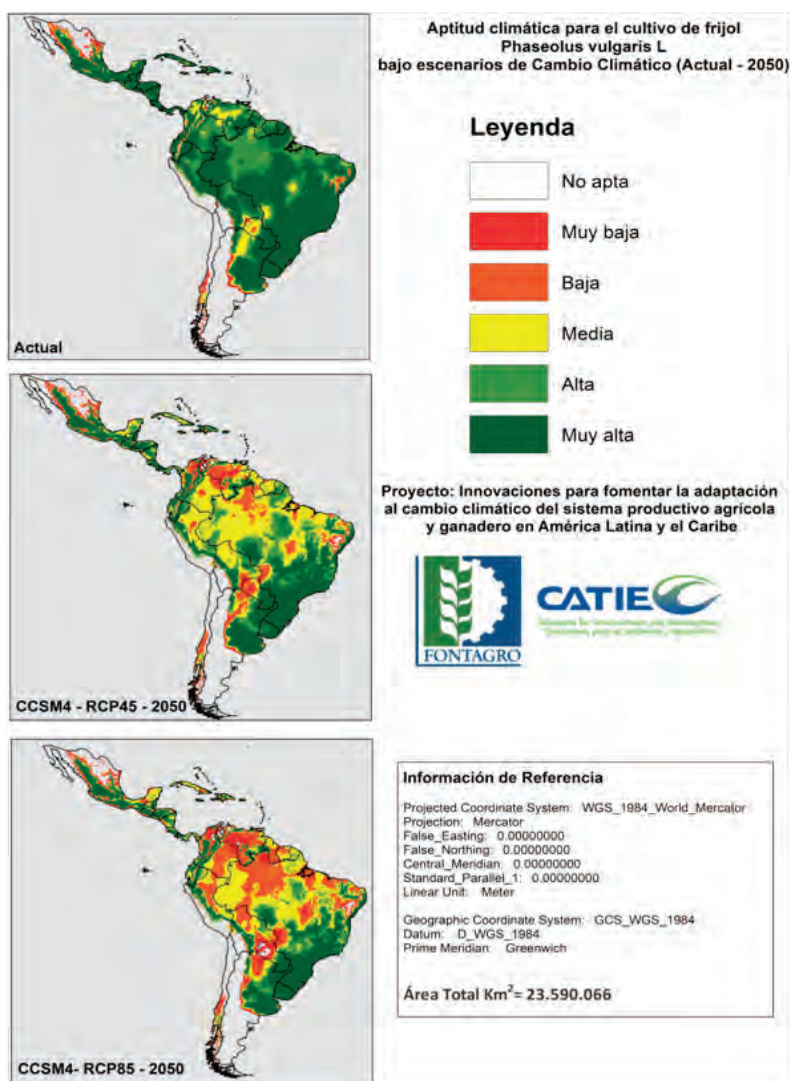
\*Áreas consideradas en Alta y Muy Alta



**Figura 2. Distribución del cambio de aptitud climática (ganancias y pérdidas) para el cultivo de arroz en América Latina y el Caribe, desarrollado bajo los modelos RCP 4,5 y 8,5.**

## 15. APTITUD CLIMÁTICA ACTUAL Y FUTURA PARA EL CULTIVO DE FRIJOL *PHASEOLUS VULGARIS L.*

Los modelos sugieren que, desde el norte de países australes con Argentina, Uruguay y Paraguay, hasta México se presentan áreas muy aptas para el periodo actual, pero estas empiezan a disminuir en el tiempo (Figura 1).



**Figura 1.** Aptitud climática actual y futura para la distribución para *Phaseolus vulgaris* en América Latina y el Caribe basados, de acuerdo con el modelo ECOCROP, aplicado a los escenarios RCP 4.5 y RCP 8.5.

Porcentajes de cambio, sugieren que las áreas con mayor aptitud climática disminuyen en más del 20% para los dos RCP's, siempre con tendencia a incrementar en las categorías superiores de aptitud (Cuadro 1).

**Cuadro 1. Porcentaje de área de la aptitud climática para *Phaseolus vulgaris* en América Latina y el Caribe, desarrollada bajo los modelos RCP 4,5 y 8,5. Los valores expresados en porcentaje equivalen al área total de ALC.**

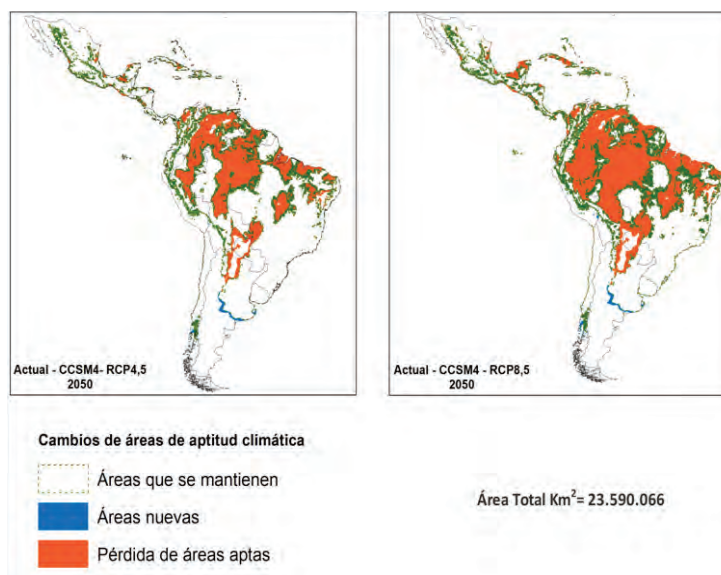
	Porcentaje de área Actual	Porcentaje de área para el 2050 RCP 4,5	Porcentaje de área para el 2050 RCP 8,5
No apta	21	20	21
Muy baja	2	3	5
Baja	2	10	19
Media	6	25	22
Alta	20	17	12
Muy alta	49	26	21

Se estima que las áreas pérdidas para este cultivo tienen un porcentaje del 2,5% para el escenario pesimista (RCP 8,5), mientras que registran un porcentaje de 2 % para el escenario optimista (RCP 4,5) - (Cuadro 2). Dichos porcentajes de pérdidas se encuentran en los países de Venezuela, en la región Caribe y el sur de México (Figura 2).

**Cuadro 2. Porcentaje de áreas de ganancias, pérdidas y mantenimiento en las categorías de aptitud climática alta y muy alta para *Phaseolus vulgaris*, para el 2050 bajo dos RCP's. Los valores expresados en porcentaje equivalen al área total de ALC.**

	Porcentaje de área 2050 RCP 4,5	Porcentaje de área 2050 RCP 8,5
Áreas que se mantienen	43	33
Ganancias	1	1
Pérdidas	26	36

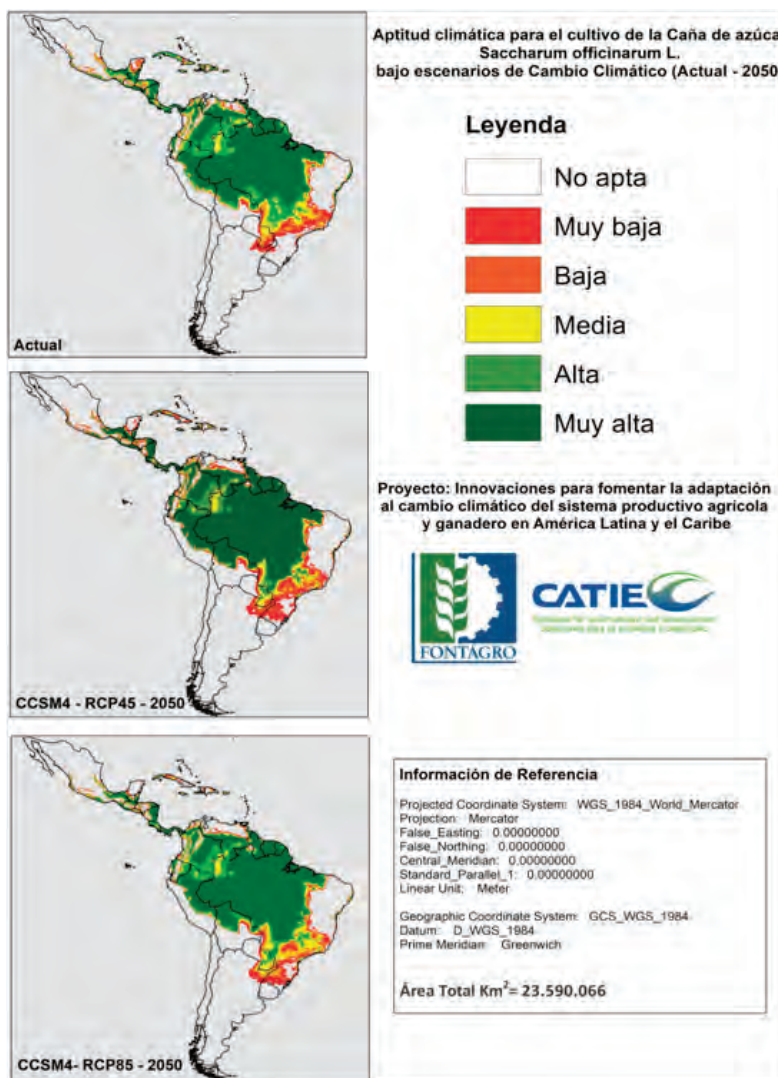
\*Áreas consideradas en Alta y Muy Alta



**Figura 2. Distribución del cambio de aptitud climática (ganancias y pérdidas) para *Phaseolus vulgaris* en América Latina y el Caribe, desarrollada bajo los modelos RCP 4,5 y 8,5.**

## 16. APTITUD CLIMÁTICA ACTUAL Y FUTURA PARA EL CULTIVO DE CAÑA SACCHARUM OFFICINARUM L.

De acuerdo con los resultados del modelo de aptitud climática desarrollado para el cultivo de caña, las áreas más aptas están concentradas en los países de Brasil, Colombia, y la mayoría de países centroamericanos, mientras que las áreas menos aptas se presentan en el Norte de México, el oriente de Brasil, y los países pertenecientes al cono sur (Figura 1).



**Figura 1.** Aptitud climática actual y futura para la distribución para *Saccharum officinarum* en América Latina y el Caribe basados, de acuerdo con el modelo ECOCROP, aplicado a los escenarios RCP 4.5 y RCP 8.5.

Para el 2050 la mayoría de las áreas que actualmente son aptas para la caña permanecerán siendo aptas, según las condiciones climáticas, sin embargo, las áreas aumentan en el RCP 4,5 y disminuyen en el RCP 8,5 (Cuadro 1). A pesar de este comportamiento, se observa que las áreas sin aptitud tienen a aumentar.

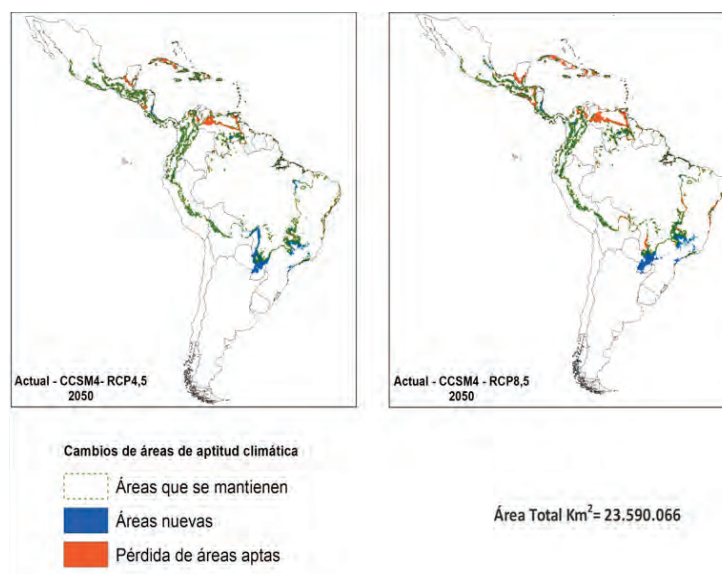
**Cuadro 1. Porcentaje de área de la aptitud climática para *Saccharum officinarum* en América Latina y el Caribe, desarrollada bajo los modelos RCP 4,5 y 8,5. Los valores expresados en porcentaje equivalen al área total de ALC.**

	Porcentaje de área Actual	Porcentaje de área para el 2050 RCP 4,5	Porcentaje de área para el 2050 RCP 8,5
No apta	48	48	48
Muy baja	4	4	4
Baja	4	4	4
Media	5	5	5
Alta	9	7	6
Muy alta	30	32	32

En todas las regiones productoras de caña de azúcar en América latina, la aptitud tiende al descenso en el 2050, algunas áreas, especialmente en la región de Centro América y el Caribe y algunas no cambian de aptitud (Figura 2).). La aptitud promedio de estas áreas se reduce entre un 2% (Cuadro 2) mientras que hoy tienen aptitud de 60-80% es decir muy buena a excelente.

**Cuadro 2. Porcentaje de áreas de ganancias, pérdidas y mantenimiento en las categorías de aptitud climática alta y muy alta para *Saccharum officinarum*, para el 2050 bajo dos RCP's. Los valores expresados en porcentaje equivalen al área total de ALC.**

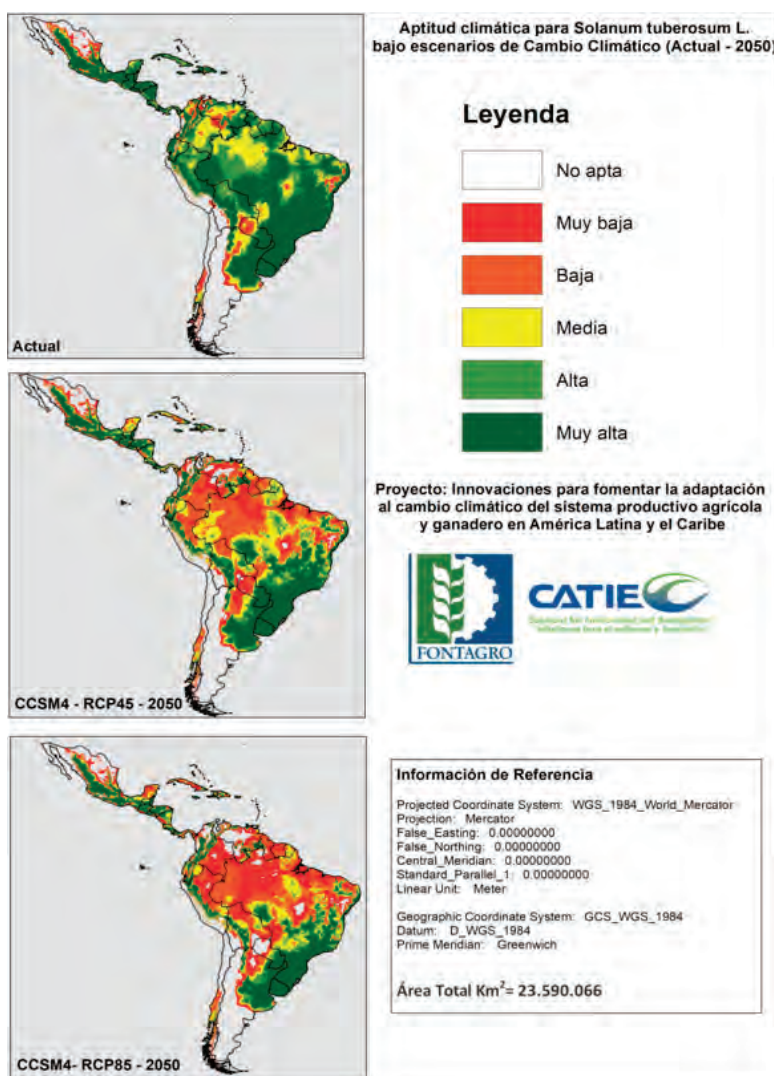
	Porcentaje de área 2050 RCP 4,5	Porcentaje de área 2050 RCP 8,5
Áreas que se mantienen	37	36
Ganancias	2	2
Pérdidas	2	3



**Figura 2. Distribución del cambio de aptitud climática (ganancias y pérdidas) para *Saccharum officinarum* en América Latina y el Caribe, desarrollada bajo los modelos RCP 4,5 y 8,5.**

## 17. APTITUD CLIMÁTICA ACTUAL Y FUTURA PARA *SOLANUM TUBEROSUM* L.

Los resultados del modelo sugieren que las áreas aptas actuales se distribuyen entre el norte de Suramérica hasta México y el Caribe, para el periodo 2050 se observa que las áreas incrementan entre categorías de media a alta, en general el cambio es de una categoría inferior de aptitud a una superior, luego la tendencia es a aumentar más que a disminuir (Figura 1).



**Figura 1.** Aptitud climática actual y futura para la distribución para *Solanum tuberosum* en América Latina y el Caribe basados, de acuerdo con el modelo ECOCROP, aplicado a los escenarios RCP 4.5 y RCP 8.5.

Se observa que no hay cambios significativos y se mantienen, los porcentajes entre periodos, sin embargo, la categoría con mayor aptitud climática aumenta en 1% para los RCP's (Cuadro 1).

**Cuadro 1. Porcentaje de área de la aptitud climática para *Solanum tuberosum* en América Latina y el Caribe, desarrollada bajo los modelos RCP 4,5 y 8,5. Los valores expresados en porcentaje equivalen al área total de ALC.**

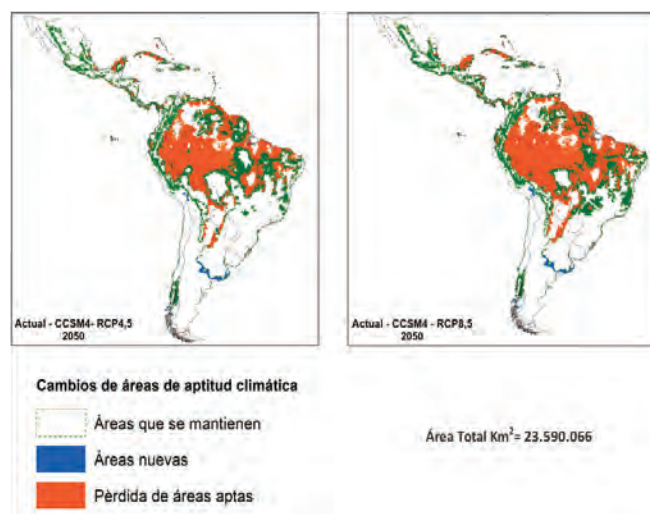
	Porcentaje de área Actual	Porcentaje de área para el 2050 RCP 4,5	Porcentaje de área para el 2050 RCP 8,5
No apta	20	22	25
Muy baja	2	9	18
Baja	5	21	18
Media	14	15	12
Alta	18	11	8
Muy alta	40	23	19

Con respecto a las áreas que se pierden y se ganan entre periodos, se observa que hay altos valores de pérdidas de áreas aptas que en realidad al observar los resultados corresponden a zonas con muy baja aptitud climática para el cultivo con valores de 28 y 36% para los dos RCP's respectivamente (Cuadro 2).

Con respecto al cambio de áreas en términos de áreas nuevas y áreas que se pierden, se observa que la tendencia es a la pérdida básicamente de áreas que tienen muy baja aptitud climática, las cuales se encuentran en zonas de tierras bajas como pie de monte colombianos, en Brasil, Venezuela y el Caribe, debido a que estas zonas bajas ocupan una gran extensión de América Latina las áreas de pérdida cuentan con un alto porcentaje (Figura 2).

**Cuadro 2. Porcentaje de áreas de ganancias, pérdidas y mantenimiento en las categorías de aptitud climática alta y muy alta para *Solanum tuberosum*, para el 2050 bajo dos RCP's. Los valores expresados en porcentaje equivalen al área total de ALC.**

	Porcentaje de área 2050 RCP 4,5	Porcentaje de área 2050 RCP 8,5
Áreas que se mantienen	34	27
Ganancias	1	1
Pérdidas	24	31

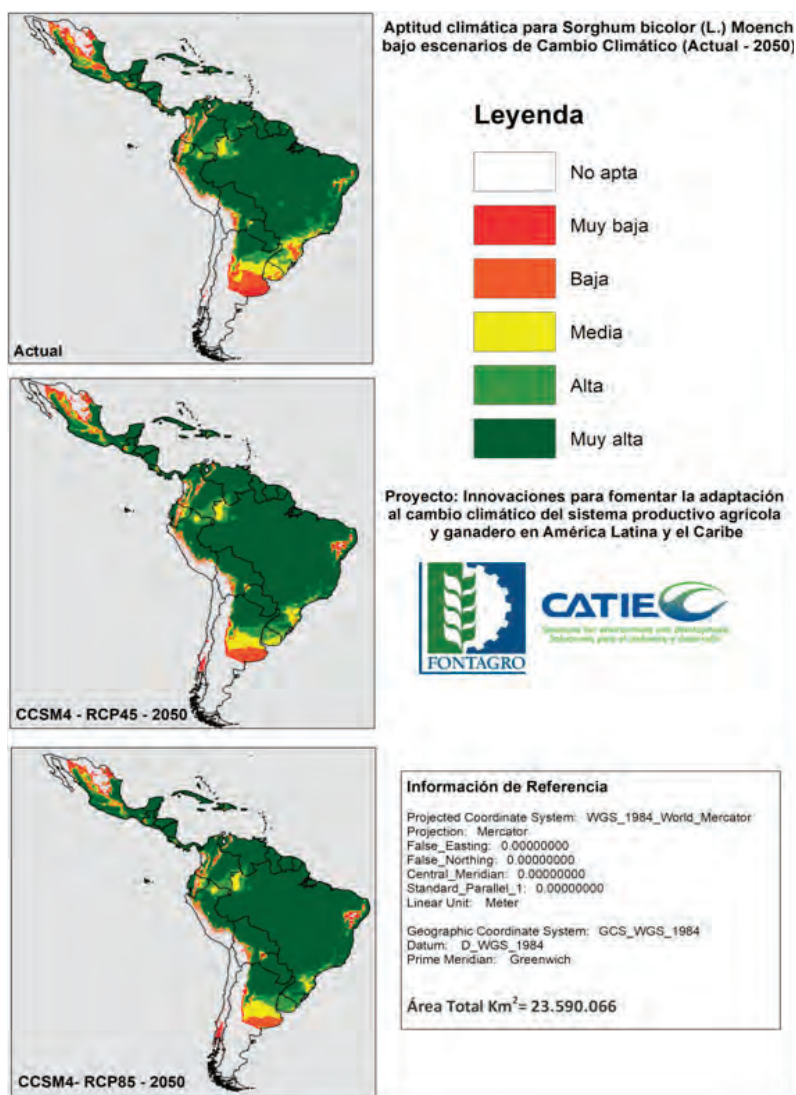


**Figura 2. Distribución del cambio de aptitud climática (ganancias y pérdidas) para *Solanum tuberosum* L. en América Latina y el Caribe.**



## 18. APTITUD CLIMÁTICA ACTUAL Y FUTURA PARA *SORGHUM BICOLOR (L.) MOENCH*

La estimación del modelo sugiere que las áreas aptas se encuentran en zonas de pie de monte en Colombia, en montaña de Perú, y regiones montañosas de Centroamérica, México y el Caribe, las categorías inferiores bajan a media, Naja y Muy Baja entre los RCP's, lo cual ocurre en el Oriente, Sur oriente colombiano, Brasil, Venezuela (Figura 1).



**Figura 1.** Aptitud climática actual y futura para la distribución para *Sorghum bicolor* en América Latina y el Caribe basados, de acuerdo con el modelo ECOCROP, aplicado a los escenarios RCP 4.5 y RCP 8.5.

El porcentaje de cambios de área entre categorías, indica que se incrementan las áreas aptas hasta un 6% para el RCP 8,5 (Cuadro 1).

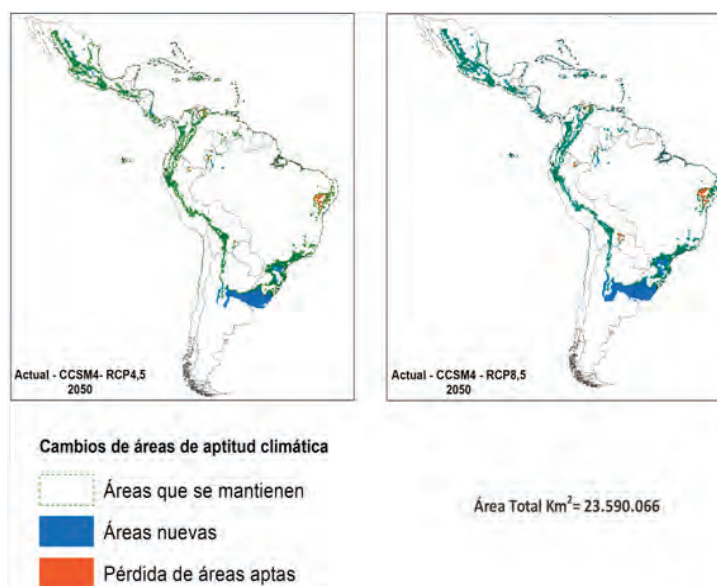
**Cuadro 1. Porcentaje de área de la aptitud climática para *Sorghum bicolor* América Latina y el Caribe, desarrollada bajo los modelos RCP 4,5 y 8,5. Los valores expresados en porcentaje equivalen al área total de ALC.**

	Porcentaje de área Actual	Porcentaje de área para el 2050 RCP 4,5	Porcentaje de área para el 2050 RCP 8,5
No apta	21	21	21
Muy baja	3	2	2
Baja	5	4	3
Media	6	6	5
Alta	10	9	9
Muy alta	55	59	60

En el cuadro 2, se observa que las ganancias de área o distribución en nuevas áreas son superiores a las pérdidas que se mantienen en el 1% para los dos RCP's. Con respecto a la distribución las nuevas áreas, el modelo sugiere que se presentan en el sur de Brasil y norte de Argentina (Figura 2).

**Cuadro 2. Porcentaje de áreas de ganancias, pérdidas y mantenimiento en las categorías de aptitud climática alta y muy alta para *Sorghum bicolor*, para el 2050 bajo dos RCP's. Los valores expresados en porcentaje equivalen al área total de ALC.**

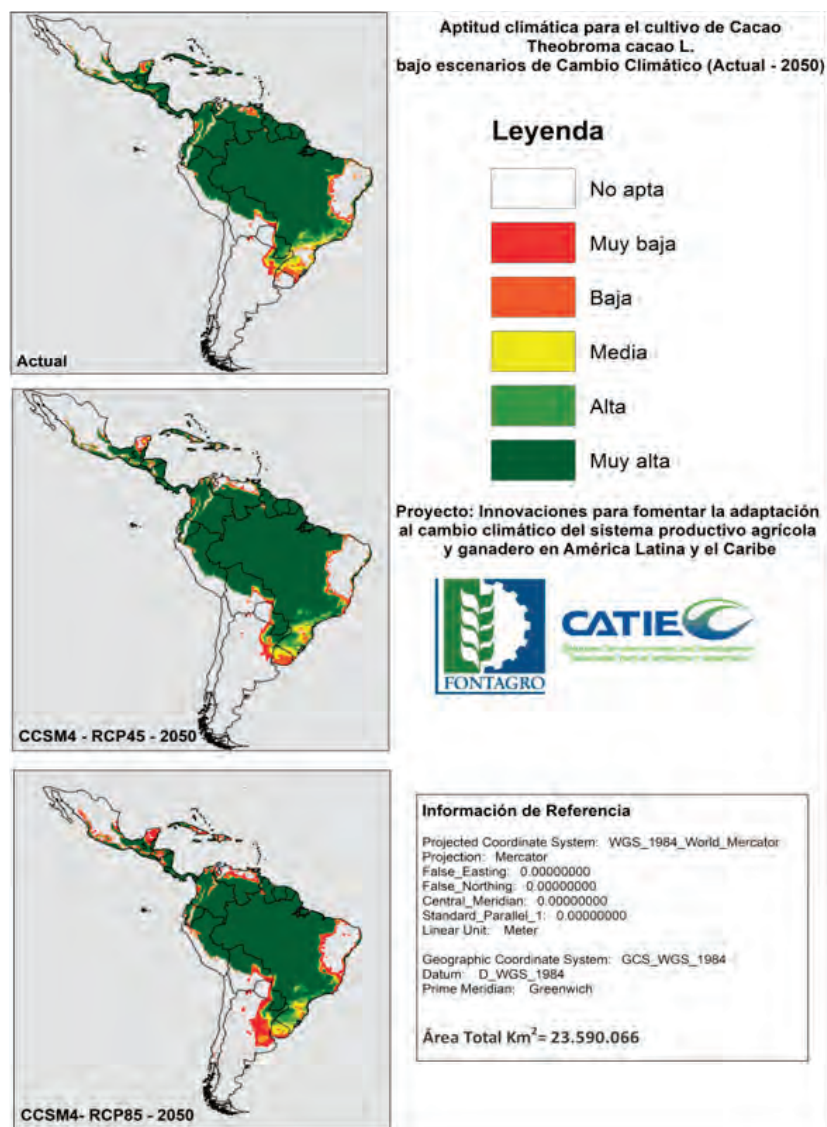
	Porcentaje de área 2050 RCP 4,5	Porcentaje de área 2050 RCP 8,5
Áreas que se mantienen	64	64
Ganancias	4	5
Pérdidas	1	1



**Figura 2. Distribución del cambio de aptitud climática (ganancias y pérdidas) para *Sorghum bicolor* en América Latina y el Caribe, desarrollada bajo los modelos RCP 4,5 y 8,5.**

## 19. APTITUD CLIMÁTICA ACTUAL Y FUTURA PARA EL CULTIVO DE CACAO *THEOBROMA CACAO*

Se observa que las áreas aptas se presentan se zonas de pie de monte, además se las áreas con escasa aptitud incrementan en el tiempo, en el sur oriente de México, Venezuela, y el Sur de Brasil (Figura 1).



**Figura 1.** Aptitud climática actual y futura para la distribución para *Theobroma cacao* en América Latina y el Caribe basados, de acuerdo con el modelo ECOCROP, aplicado a los escenarios RCP 4.5 y RCP 8.5.

Para el 2050, se observa que la disminución no es representativa, puesto que se mantienen en valores del 46% (Cuadro 1).

**Cuadro 1. Porcentaje de área de la aptitud climática para *Theobroma cacao* en América Latina y el Caribe, desarrollada bajo los modelos RCP 4,5 y 8,5. Los valores expresados en porcentaje equivalen al área total de ALC.**

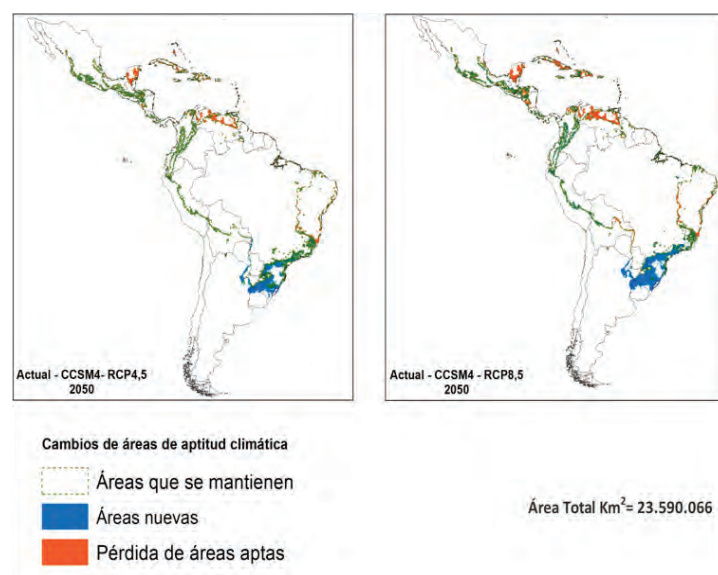
	Porcentaje de área Actual	Porcentaje de área para el 2050 RCP 4,5	Porcentaje de área para el 2050 RCP 8,5
No apta	42	42	42
Muy baja	2	2	2
Baja	3	2	3
Media	3	3	3
Alta	3	4	4
Muy alta	47	47	46

Las regiones donde se presentan las pérdidas de aptitud se encuentran en Venezuela y unas regiones de Colombia (Figura 2), de otro lado, las áreas se mantienen en el Caribe y centro América (Figura 2). La aptitud promedio de estas áreas se reduce hasta el 3% (Cuadro 2), mientras que las áreas que se mantienen aptas se encuentran hasta el 49 % (Cuadro 2). Al sur este de Brasil, Norte de Argentina y Uruguay son las áreas nuevas que bajo condiciones climáticas serian nuevas áreas para el desarrollo de este cultivo (Figura 2).

**Cuadro 2. Porcentaje de áreas de ganancias, pérdidas y mantenimiento en las categorías de aptitud climática alta y muy alta para *Theobroma cacao*, para el 2050 bajo dos RCP's. Los valores expresados en porcentaje equivalen al área total de ALC.**

	Porcentaje de área 2050 RCP 4,5	Porcentaje de área 2050 RCP 8,5
Áreas que se mantienen	49	49
Ganancias	1	1
Pérdidas	1	1

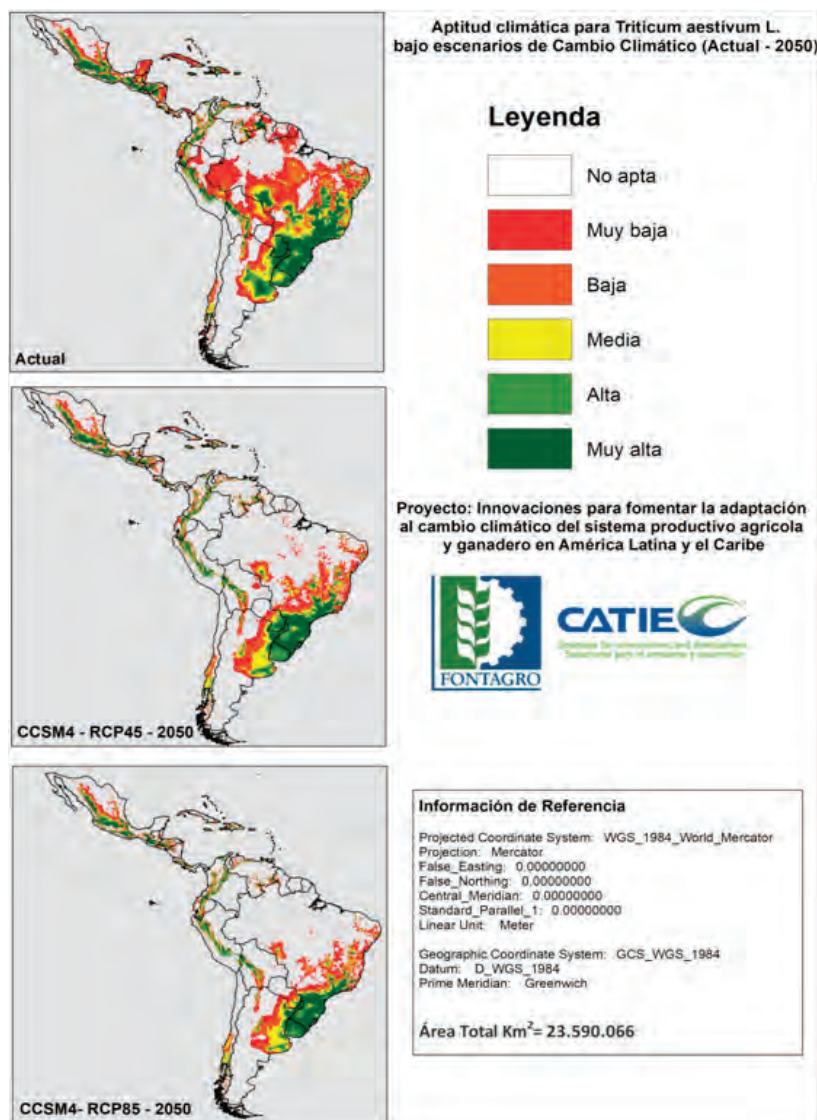
\*Áreas consideradas en Alta y Muy Alta



**Figura 2. Distribución del cambio de aptitud climática (ganancias y pérdidas) para *Theobroma cacao* en América Latina y el Caribe, desarrollada bajo los modelos RCP 4,5 y 8,5.**

## 20. APTITUD CLIMÁTICA ACTUAL Y FUTURA PARA *TRITICUM AESTIVUM* L.

La estimación del modelo sugiere que las áreas aptas se encuentran en zonas de Brasil, el pacífico de Centro América, las cuales disminuyen para el 2050 y las zonas que cuentan con algún potencial como Muy baja desaparecen (Figura 1).



**Figura 1.** Aptitud climática actual y futura para la distribución para *Triticum aestivum* en América Latina y el Caribe basados, de acuerdo con el modelo ECOCROP, aplicado a los escenarios RCP 4.5 y RCP 8.5.

Se observa que se presentan disminuciones en los porcentajes de área para la categoría de Muy alta aptitud climática tienen a descender y la aptitud Muy baja tienen a desaparecer (Cuadro 1).

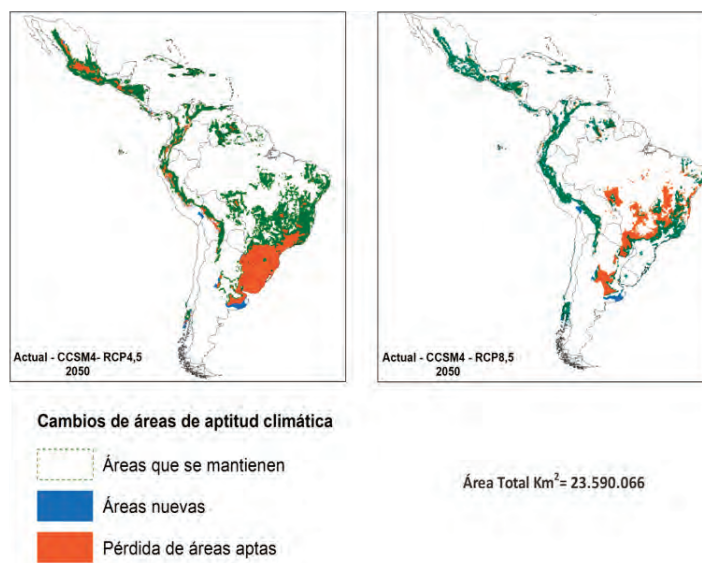
**Cuadro 1. Porcentaje de área de la aptitud climática para *Triticum aestivum* América Latina y el Caribe, desarrollada bajo los modelos RCP 4,5 y 8,5. Los valores expresados en porcentaje equivalen al área total de ALC.**

	Porcentaje de área Actual	Porcentaje de área para el 2050 RCP 4,5	Porcentaje de área para el 2050 RCP 8,5
No apta	47	68	73
Muy baja	14	7	6
Baja	11	7	6
Media	9	5	5
Alta	8	5	4
Muy alta	11	7	6

Con respecto a las áreas que se pierden y se ganan entre periodos, se observa que hay tendencia a perder áreas más que a la presencia de áreas nuevas, observándose porcentajes de 7 - 9% para pérdida de áreas, mientras que las áreas nuevas (ganancias) no superan el 1% para los dos RCP's (Cuadro 2). Las distribuciones de dichas áreas de pérdida están localizadas en Brasil, Argentina y unas zonas de centro América, México y el Caribe (Figura 2).

**Cuadro 2. Porcentaje de áreas de ganancias, pérdidas y mantenimiento en las categorías de aptitud climática alta y muy alta para *Triticum aestivum*, para el 2050 bajo dos RCP's. Los valores expresados en porcentaje equivalen al área total de ALC.**

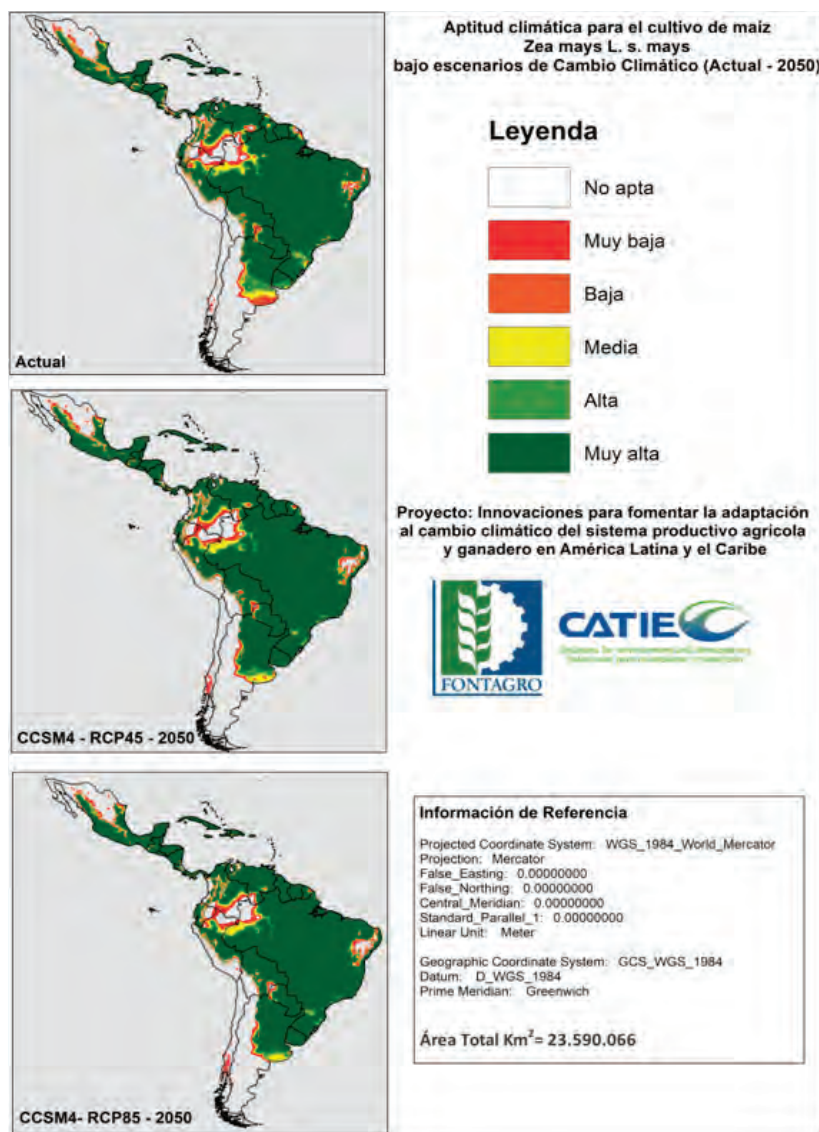
	Porcentaje de área 2050 RCP 4,5	Porcentaje de área 2050 RCP 8,5
Áreas que se mantienen	12	10
Ganancias	1	1
Pérdidas	7	9



**Figura 2. Distribución del cambio de aptitud climática (ganancias y pérdidas) para *Triticum aestivum* en América Latina y el Caribe, desarrollada bajo los modelos RCP 4,5 y 8,5.**

## 21. APTITUD CLIMÁTICA ACTUAL Y FUTURA PARA ZEA MAYS L. S. MAYS

El modelo sugiere que en general las áreas se mantienen en el tiempo, y se observa que las áreas no aptas se encuentran en el sur de Colombia en límites con Brasil, junto con Chile, y la zona litoral de Perú (Figura 1).



**Figura 1.** Aptitud climática actual y futura para la distribución para *Zea mays* en América Latina y el Caribe basados, de acuerdo con el modelo ECOCROP, aplicado a los escenarios RCP 4.5 y RCP 8.5.

Los modelos sugieren que las áreas con mayor aptitud se mantienen y se incrementan en alrededor de un 4%, mientras que la disminución se presenta en áreas con baja aptitud climática (Cuadro 1).

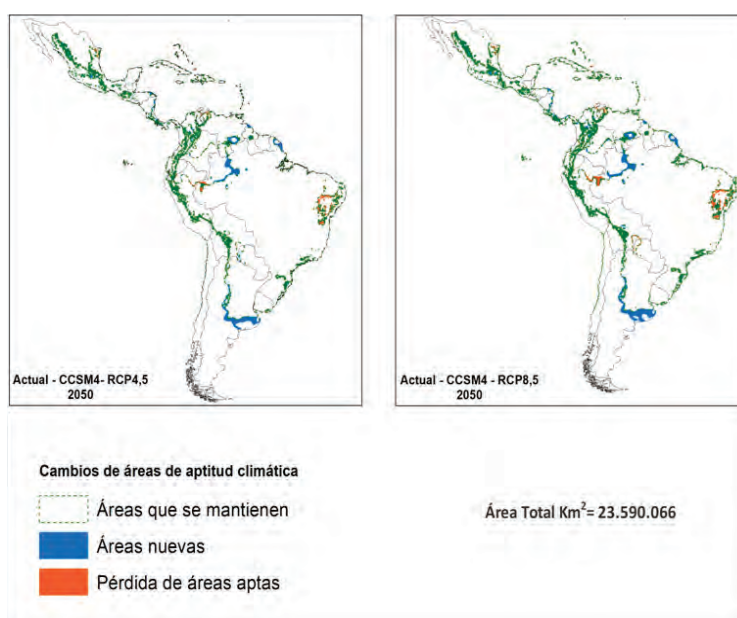
**Cuadro 1. Porcentaje de área de la aptitud climática para *Zea mays* América Latina y el Caribe, desarrollada bajo los modelos RCP 4,5 y 8,5. Los valores expresados en porcentaje equivalen al área total de ALC.**

	Porcentaje de área Actual	Porcentaje de área para el 2050 RCP 4,5	Porcentaje de área para el 2050 RCP 8,5
No apta	27	26	26
Muy baja	3	2	2
Baja	3	3	3
Media	4	3	3
Alta	6	4	4
Muy alta	57	61	62

Las pérdidas de áreas son mínimas ya que no superan el 1,3% mientras que las áreas que ganan se acercan al 4% (Cuadro 2), y estas se encuentran localizadas en Argentina y el Noroccidente de Brasil (Figura 2).

**Cuadro 2. Porcentaje de áreas de ganancias, pérdidas y mantenimiento en las categorías de aptitud climática alta y muy alta para *Zea mays*, para el 2050 bajo dos RCP's. Los valores expresados en porcentaje equivalen al área total de ALC.**

	Porcentaje de área 2050 RCP 4,5	Porcentaje de área 2050 RCP 8,5
Áreas que se mantienen	61	61
Ganancias	4	5
Pérdidas	2	2

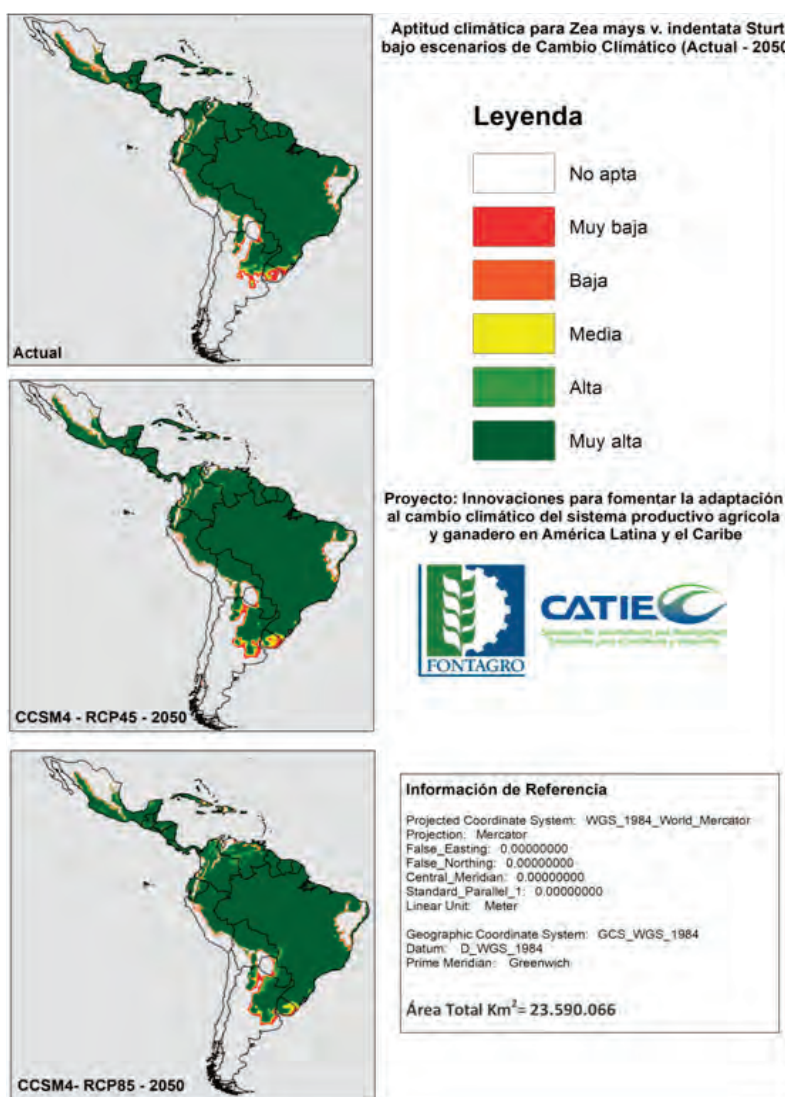


**Figura 2. Distribución del cambio de aptitud climática (ganancias y pérdidas) para *Zea mays* en América Latina y el Caribe, desarrollada bajo los modelos RCP 4,5 y 8,5.**



## 22. APTITUD CLIMÁTICA ACTUAL Y FUTURA PARA *ZEZ MAYS V. INDENTATA STURT.*

La estimación del modelo sugiere que las áreas aptas se encuentran distribuidas en la mayoría de la región septentrional de América Latina incluyendo el Caribe, apreciándose un incremento mínimo en áreas no aptas en la Sur oeste de Brasil, el Norte de Argentina y pequeñas áreas de México y el Caribe (Figura 1).



**Figura 1.** Aptitud climática actual y futura para la distribución para *Zea mays v. Indentata* en América Latina y el Caribe basados, de acuerdo con el modelo ECOCROP, aplicado a los escenarios RCP 4.5 y RCP 8.5.

Se observa que no hay cambios significativos y las áreas con aptitud climática muy aptas disminuyen solo para el RCP 8,5 en un 1%, En general las áreas tienden a mantener sus porcentajes entre los dos periodos actual - 2050 (Cuadro 1).

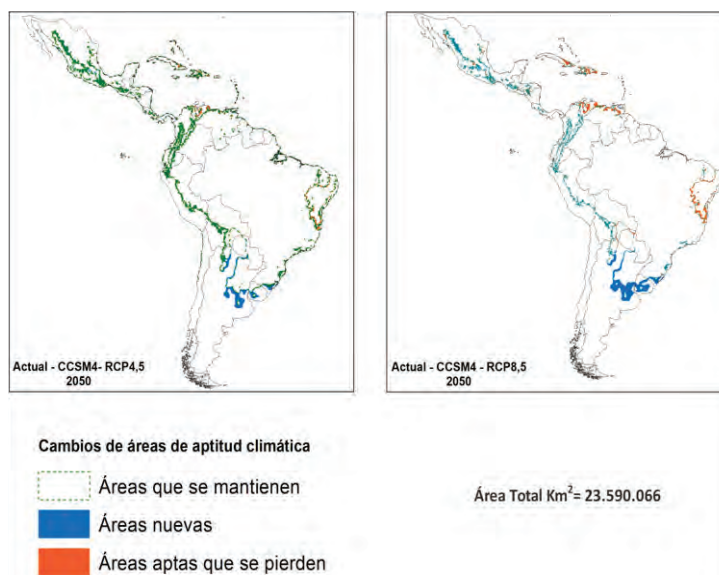
**Cuadro 1. Porcentaje de área de la aptitud climática para *Zea mays v. Indentata* en América Latina y el Caribe, desarrollada bajo los modelos RCP 4,5 y 8,5. Los valores expresados en porcentaje equivalen al área total de ALC.**

	Porcentaje de área Actual	Porcentaje de área para el 2050 RCP 4,5	Porcentaje de área para el 2050 RCP 8,5
No apta	32	31	32
Muy baja	2	1	1
Baja	1	2	1
Media	2	2	2
Alta	2	2	5
Muy alta	61	62	60

Con respecto a las áreas que se pierden y se ganan entre periodos, se observa que hay un leve incremento en áreas aptas nuevas para el cultivo con el 2 y el 3% respectivamente (Cuadro 2). La distribución de las áreas nuevas se encuentra localizada en Argentina y Uruguay, mientras que las áreas que pierden aptitud se encuentran localizadas en Brasil Colombia, y el Caribe, principalmente (Figura 2).

**Cuadro 2. Porcentaje de áreas de ganancias, pérdidas y mantenimiento en las categorías de aptitud climática alta y muy alta para *Zea mays v. Indentata*, para el 2050 bajo dos RCP's. Los valores expresados en porcentaje equivalen al área total de ALC.**

	Porcentaje de área 2050 RCP 4,5	Porcentaje de área 2050 RCP 8,5
Áreas que se mantienen	62	62
Ganancias	1	3
Pérdidas	1	2



**Figura 2. Distribución del cambio de aptitud climática (ganancias y pérdidas) para *Zea mays v. Indentata* en América Latina y el Caribe, desarrollada bajo los modelos RCP 4,5 y 8,5.**

# ANEXO 3. MAPAS DE APTITUD CLIMÁTICA PARA LOS CULTIVOS Y PASTOS SELECCIONADOS

## FICHAS TÉCNICAS

Como insumo para el diseño y la implementación de programas efectivos para fomentar la adaptación al cambio climático se identificaron 23 innovaciones las cuales se incluyen en el presente anexo. Estas innovaciones representan herramientas prácticas para beneficiar la adaptación al cambio climático a través de mejoras en seis dimensiones: la eficiencia en la captura y uso del agua, la conservación y el manejo de la fertilidad de suelos, la creación de condiciones micro-climáticas favorables, un mejor aprovechamiento de la agrobiodiversidad (particularmente la diversidad genética de plantas y animales), el manejo integrado de excretas y residuos de cultivos y, finalmente, el manejo racional de los recursos alimenticios para el ganado.

Las 23 innovaciones se dividieron en seis grupos:

### Agua

1. Cosecha de agua
2. Uso de aguas grises
3. Riego y fertiriego eficientes
4. Agroforestería para proteger ríos, lagos y lagunas

### Suelo

5. Manejo integrado de fertilidad de suelos
6. Manejo de materia orgánica y biocarbono
7. Labranza de conservación y labranza cero
8. Terrazas
9. Barreras vivas
10. Microorganismos benéficos para la agricultura
11. Cobertura de suelo y abonos verdes

### Microclima

12. Cortinas rompevientos
13. Uso de árboles de sombra
14. Ambientes protegidos (invernaderos, bandas plásticas, mallas)

### Diversidad genética

15. Agrobiodiversidad y bancos de semillas
16. Cambio de especie o variedad
17. Conservación y uso de especies forrajeras con mayor potencial de adaptación a la sequía, encharcamiento o heladas
18. Conservación y uso de razas animales adaptadas al trópico

### Manejo de Residuos

19. Manejo integrado de excretas y fermentadores de biogás
20. Composta y Lombricomposta

### Alimentos para el ganado

21. Manejo racional del pastoreo
22. Conservación de forrajes
23. Uso de residuos de cosecha y subproductos agroindustriales

Para cada innovación hay una descripción de los componentes y funciones de las prácticas, las zonas agroecológicas donde tiene mayor potencial de aplicación, en qué forma contribuye a reducir la vulnerabilidad al CC, cuáles son los requerimientos para su implementación, cuáles son los beneficios y cobeneficios que se pueden generar, así como ejemplos de casos exitosos con su aplicación. Cada “Ficha técnica” finaliza con un marco de referencia que facilitan el acceso a publicaciones clave y proveen vínculos a otras fuentes de información como videos cortos que ilustran las innovaciones.

Para la identificación rápida de los beneficios y cobeneficios principales de cada innovación, incluimos los siguientes símbolos, para describir los principales beneficios de cada innovación:



CONSERVACIÓN DE AGUA



CONSERVACIÓN DE SUELO



MITIGACIÓN DE CAMBIO CLIMÁTICO



ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO



CONSERVACIÓN DE LA BIODIVERSIDAD



MEJORAMIENTO DE MICROCLIMA



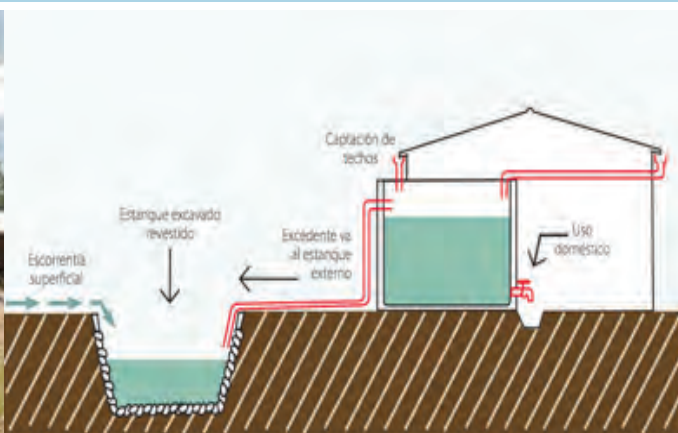
AUMENTO Y/O SOSTENIBILIDAD DE LA PRODUCCIÓN



SEGURIDAD ALIMENTARIA

## INNOVACIÓN: AGUA

### FICHA TÉCNICA: COSECHA DE AGUA<sup>28</sup>



### ¿QUÉ ES LA COSECHA DE AGUA?

La cosecha de agua se refiere a la práctica de recoger agua de lluvia en techos y otras superficies para el beneficio directo de cultivos o para almacenarla en tanques o lagunas para uso doméstico, para agricultura o animales. En algunas zonas también se puede captar agua de neblina usando mallas verticales.

28. Foto. 1. Captación y almacenamiento de agua de lluvia para uso doméstico, para animales y para regar cultivos. Al izquierda un ejemplo de San Andrés Tuxtla, México. Fuente: <https://www.informantesenred.com/implementan-captacion-de-agua-lluvia-en-texalpan-de-arriba/> y [http://www.fao.org/fileadmin/user\\_upload/AGRO\\_Noticias/docs/captacion\\_agua\\_de\\_lluvia.pdf](http://www.fao.org/fileadmin/user_upload/AGRO_Noticias/docs/captacion_agua_de_lluvia.pdf)

## ¿CUALES SON SUS BENEFICIOS?



## ¿EN CUÁLES ZONAS AGROECOLÓGICAS Y AGROECOSISTEMAS TIENEN SU MAYOR POTENCIAL DE APLICACIÓN?

En el pasado esta práctica fue restringida principalmente a zonas áridas y semiáridas, muchas veces con menos de 800 mm de precipitación anual. Sin embargo, como el cambio climático en los últimos 20 años ha acentuado la incidencia y la gravedad de sequías también en otras zonas que, tradicionalmente, no sufrían de un déficit de agua, hoy día la práctica de cosechar agua se ha convertido en una práctica de relevancia mucho más universal. Un ejemplo es la región alta del volcán Irazú (1800 - 3000 msnm), la zona principal hortícola de Costa Rica, donde en el pasado siempre había suficiente precipitación para permitir una producción durante los 12 meses. Sin embargo, desde hace unos 10 a 15 años se hace sentir, cada vez más, un déficit estacional y no predecible de agua que ya alcanza de 2 a 4 meses en varias microrregiones. Esta falta de agua es tan grave que limita la producción durante varios meses. Consecuentemente, más y más productores están obligados a establecer sistemas de cosecha y almacenamiento de aguas.

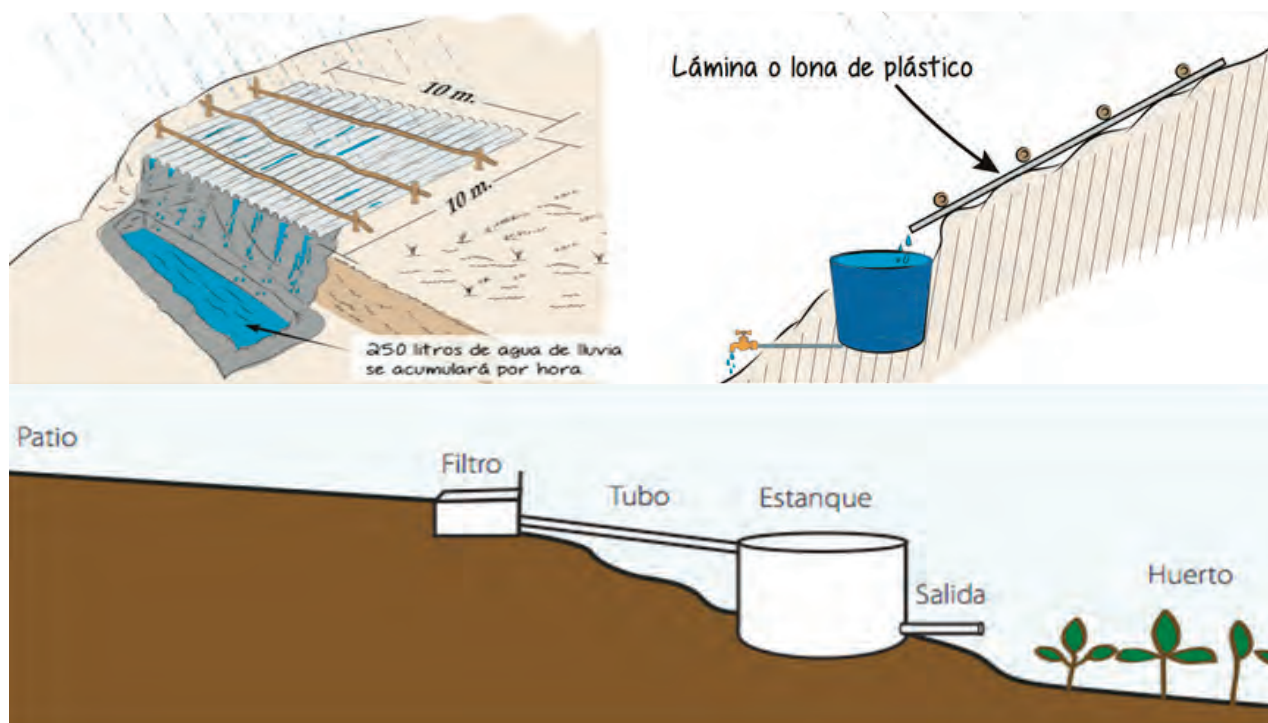
## ¿CÓMO CONTRIBUYE A REDUCIR LA VULNERABILIDAD AL CAMBIO CLIMÁTICO?

La cosecha y el almacenamiento de aguas de lluvia o de neblina permite reducir el estrés de plantas y animales durante sequías. Además, dependiendo de la cantidad de agua almacenada y la eficiencia del sistema de riego, el uso de esta práctica permite extender el periodo de producción de plantas y animales en periodos secos. Por ende, la cosecha de agua contribuye a reducir la vulnerabilidad al cambio climático y beneficia a la seguridad alimentaria.

## ¿CÓMO SE ESTABLECE LA COSECHA DE AGUA?

Existen diferentes técnicas de cosecha de agua, dependiendo del área de donde se obtiene el agua y la forma de su uso (Figura 1).





**Figura 1.** Diferentes formas de cosechar y usar o almacenar agua de lluvia: Micro-captación para concentrar y retener agua de lluvia para el beneficio de árboles individuales, un reservorio semi-techado, una superficie sellada para almacenar agua en una fosa o un tanque, y una macro-captación para conducir el agua de un patio a un estanque grande (Fuente: FAO 2013 y JICA 2015).

**Cuadro 1.** Tipos de técnicas de cosecha de agua y sus características principales (Fuente: modificado de FAO 2013).

TÉCNICA	CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES
Micro-captación	Captura la escorrentía superficial de un área inclinado cerca de un cultivo, liso, poco permeable y sin vegetación, para dirigirla a la zona de cultivo, donde existen surcos, bordos, camellones u hoyos. También es denominada como captación in situ (Fig. 2, arriba)
Macro-captación	Captura la escorrentía superficial generada en áreas más grandes, ubicadas en áreas contiguas, pero fuera del área del cultivo, para conducirla hacia el área de cultivo. Usualmente debe haber estructuras de contención, conducción y almacenamiento (Fig. 2, abajo).
Derivación de manantiales y cursos de agua mediante bocatomas	Captura cursos de agua, como manantiales, nacientes y arroyos, en base a derivación hecha con bocatomas.
Cosecha de agua de techos de vivienda y otras estructuras impermeables	Consiste en captar la escorrentía producida en superficies impermeables o poco permeables, como techos de viviendas y establos. La captación de agua de techos es la que permite obtener el agua de mejor calidad para consumo doméstico.
Captación de agua atmosférica	Consiste en capturar y aprovechar la humedad atmosférica en forma de niebla. Se realiza en algunas zonas secas y altas de los Andes

## ¿CUÁLES SON LOS REQUERIMIENTOS PARA SU IMPLEMENTACIÓN?

Los requerimientos para el establecimiento y mantenimiento varían grandemente según la dimensión de las obras y la cantidad de agua almacenada. Los mayores requerimientos se generan en el momento de establecimiento por los costos de construcción de estanques, así como para la compra de tanques, tubería y otros materiales (Cuadro 2).

**Cuadro 2.** Requerimientos para la implementación de la práctica.

Requerimiento	Establecimiento*	Mantenimiento*
Mano de obra	1-2	1-2
Inversión o capital	2-3	1
Infraestructura	2-3	1
Maquinaria	1-2	1
Insumos biológicos	1	1

\*Nivel de costo: 1=bajo, 2=medio, 3=alto.

## ¿QUÉ BENEFICIOS Y COBENEFICIOS APORTA ESTA PRÁCTICA?

La cosecha de agua permite mejorar los rendimientos de la producción de cultivos y animales, extender el periodo de producción y expandir actividades agrícolas o ganaderas a zonas donde antes no existía esta posibilidad (FAO, 2000). En adición, como el suministro más estable de agua reduce el estrés a cultivos y animales, también tiende a elevar la calidad de los productos. Para cultivos perennes y animales, la disponibilidad aumenta la tasa de sobrevivencia en periodos de sequía prolongada.

Los cobeneficios más marcados son la conservación de agua, así como la diversificación y estabilidad de la producción, lo cual genera beneficios para la seguridad alimentaria y los ingresos de las familias productivas (Cuadro 3).

**Cuadro 3.** Cobeneficios esperados con el uso de cosecha de agua. (Fuente: modificado de FAO 2013).

Socioeconómicos	Nivel o grado*	Ambientales	Nivel o grado*
Diversificación de la producción	2-3	Conservación de agua	3
Estabilidad en la producción	2-3	Conservación de Biodiversidad	1
Empleo	1-2	Conservación de suelo	2
Seguridad alimentaria	2-3	Reducción de GEI	N/a
Ingreso	2-3	Captura de Carbono	N/a

\*Nivel de beneficios: 1=bajo, 2=medio, 3=alto, N/a= no aplica

## CASOS DE ÉXITO

La figura 3 presenta dos ejemplos de cosecha y uso de agua de lluvia, uno de la región seca del Noreste de Brasil y otro de una zona estacionalmente seca de Costa Rica.



**Figura 3.** Dos ejemplos de cosecha y uso de agua de lluvia. Izquierda: Cosecha de agua de lluvia y almacenamiento en una cisterna de 16 m<sup>3</sup> en el NE de Brasil. Derecha: una laguna artificial, impermeabilizada con una geomembrana, para almacenar agua de lluvia de un techo con el fin de usarlo para regar una plantación de papaya orgánica en Costa Rica (Fuentes de fotos: Marcos J Vieira en FAO 2013 y RG Muschler).

### **Microcaptación para el riego de cultivos anuales y perennes en México.**

En México existen buenas experiencias con la cosecha de agua de lluvia, utilizando la superficie entre las hileras de los cultivos para recolectar agua para los cultivos. Al aumentar la distancia de siembra entre hileras se incrementa el área para captar más agua de escorrentía para el beneficio del cultivo. Por ejemplo, en Puebla, al aumentar la distancia entre filas de frijol de 70 cm a 132 cm fue posible de captar más agua de lluvia para cada planta cultivada y, así, satisfacer las necesidades hídricas del cultivo. Se notó que es preferible que los suelos donde se realiza la micro-captación deben tener por lo menos 70 cm de profundidad y que es posible tener buenos resultados en zonas con precipitaciones medias anuales de al menos 500 mm. Bajo esas condiciones, se logró incrementar de 200 a 300%

la producción de cultivos anuales y perennes (FAO, 2000).

**Pequeñas obras para captar agua de lluvia y utilizar vertientes en Chile.** Esta experiencia se desarrolló en la zona de Cauquenes, Chile, con un promedio anual de precipitación de 660 mm, concentrada en los meses de mayo a agosto. La instalación para cosechar agua consistió en un muro desmontable formado por paneles de metal de tres mm de espesor, con 1 m de ancho y 3 m de alto. Estos paneles permitieron captar el agua de lluvia por escorrentía (en primavera) y el agua de vertientes en primavera y verano. Con esta técnica se regaron superficies menores a una hectárea, por lo general con cultivos de porotos, maíz y papa. Durante el invierno estos paneles se desarmaron para dejar pasar los mayores caudales (FAO, 2000).



### **Cosecha de agua de techos y otras estructuras impermeables: el proyecto “Cosechando agua, sembrando luz”**

Este proyecto se desarrolló en las zonas áridas y semiáridas de Bolivia, afectadas por largos periodos de sequía y sin acceso a agua potable. Para hacer frente a este problema se decidió cosechar y almacenar agua de lluvia captada en los techos durante la época de lluvia. Se construyeron aljibes familiares de hierro y cemento con una capacidad de 12 m<sup>3</sup> cada uno (Fig. 4). Esta cantidad de agua, potabilizada por las mismas familias, permite abastecer a cada miembro de la familia con aproximadamente 75 l de agua potable por día por un periodo de hasta 5 meses (Gertner et al. 2016). Obviamente, ahorrando agua por debajo de estos valores permite aprovechar una parte del agua también para la cría de animales o para regar cultivos hortícolas.



**Figura 4.** El establecimiento de tanques en esta zona de Bolivia permite almacenar el agua de lluvia recolectada de los techos para su uso durante 3 a 5 meses de sequía absoluta (Foto de Gertner et al. 2016).

## **REFERENCIAS**

FAO 2013 Captación y Almacenamiento de Agua de Lluvia: Opciones Técnicas para la Agricultura Familiar en América Latina y el Caribe. 1 ed. FAO, Santiago, Chile. 272 p. Consultado 7 may. 2017. Disponible en <http://www.fao.org/docrep/019/i3247s/i3247s.pdf>

FAO 2000. Manual de Captación y Aprovechamiento del Agua de Lluvia: Experiencias en América Latina. Santiago, Chile. 235 p. <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/010/ai128s/ai128s00.pdf>

Gertner G, Martínez S, Sturzenegger G, 2016. Expandiendo Acceso a Agua Potable y Saneamiento en Pequeñas Comunidades Rurales de Bolivia. Banco Interamericano de Desarrollo (BID). <https://publications.iadb.org/handle/11319/7941?locale-attribute=es>

JICA 2015 Guía práctica para cosechar el agua de lluvia. Proyecto de Desarrollo Rural Integral Sostenible en la Provincia de Chimborazo. Ecuador. 23 pág.

## FICHA TÉCNICA: AGUAS GRISES<sup>29</sup>



### ¿QUÉ SON LAS AGUAS GRISES?

Aguas grises son las aguas efluentes de origen doméstico (desagües de bañeras, lavabos, pilas de la cocina, lavavajillas o lavadoras), aguas residuales agrícolas y urbanas que procedan de núcleos con escasa presencia industrial o, en su caso, con vertidos industriales exentos de componentes químicos. Típicamente, aguas grises corresponden a la mayoría de las aguas usadas en las viviendas humanas (más de un 65%), el resto correspondiendo a aguas negras. Dependiendo de la carga de contaminantes orgánicos o inorgánicos, puede ser necesario de filtrar o tratar esta agua o no para su uso en agricultura.

La reutilización del agua disminuye los costos de agua potable y aguas residuales, protege las reservas de agua subterránea y reduce la carga de las aguas residuales.

### ¿CUÁLES SON SUS BENEFICIOS?



### ¿CUÁLES ZONAS AGROECOLÓGICAS Y AGROECOSISTEMAS TIENEN MAYOR POTENCIAL DE APLICACIÓN?

El uso de aguas grises es recomendado para todos los agroecosistemas, con el fin de aprovechar aguas ya usadas y así reducir el uso de aguas frescas adicionales. Sin embargo, los mayores beneficios se generan en zonas áridas y semiáridas con limitantes de agua. Para minimizar riesgos de contaminación de partes comestibles de cultivos con sustancias residuales no deseadas, se recomienda usar las aguas grises preferiblemente para cultivos y sistemas de riego (preferiblemente riego por goteo) evitando la posibilidad que las partes comestibles de los cultivos entren en contacto directo con las aguas grises.

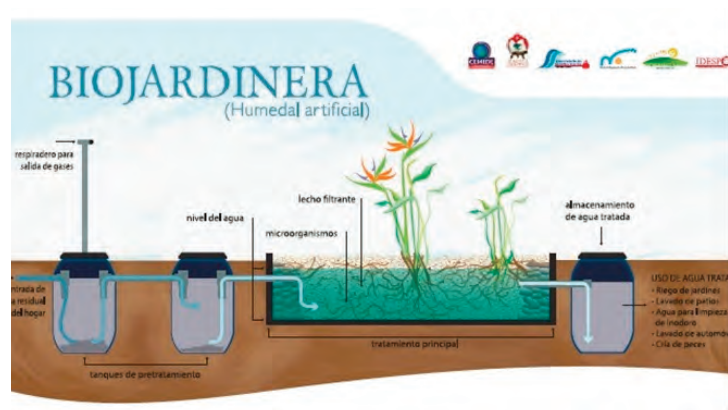
29. Fotos de izquierda a derecha. 1. Tratamiento de aguas grises con una biojardinera con tres componentes. 2. Biojardinera recién construida y bien establecida. 3. Biojardinera después de meses de establecida. Fuente: Internet commons y [www.mag-jica-emv.net/wp-content/uploads/2015/07/DSC03906.jpg](http://www.mag-jica-emv.net/wp-content/uploads/2015/07/DSC03906.jpg) y [www.mag-jica-emv.net/2013/09/asi-luce-actualmente-la-biojardinera-sistema-de-tratamiento-de-aguas-domesticas/](http://www.mag-jica-emv.net/2013/09/asi-luce-actualmente-la-biojardinera-sistema-de-tratamiento-de-aguas-domesticas/)

## ¿CÓMO CONTRIBUYE A REDUCIR LA VULNERABILIDAD AL CAMBIO CLIMÁTICO?

El aprovechamiento de aguas grises, tratadas adecuadamente para eliminar contaminantes, permite regar siembras agrícolas sin depender de aguas adicionales. Por ende, el reciclaje de estas aguas permite reducir la demanda del sistema agrícola por agua, lo cual reduce la vulnerabilidad a sequías. La contribución de estas aguas para suplir la demanda de los cultivos puede ser sustancial, si es que hay la posibilidad de almacenar aguas grises tratadas. En el caso ideal, la reutilización de aguas grises se combina con la aplicación de sistemas eficientes de riego, preferiblemente riego por goteo (ver Ficha técnica), con el fin de maximizar la eficiencia de uso del agua.

## ¿CÓMO SE ESTABLECE?

Un sistema típico de aprovechamiento de aguas grises consiste en tres componentes (Allen 2015; Montes 2009): 1) un sistema de recolección de estas aguas; 2) instalaciones para su tratamiento (si esto fuera necesario por altas cargas de contaminantes; Figura 1); y 3) el sistema de distribución/uso. El primer paso es la recolección de las diferentes fuentes de aguas usadas en la casa para unir las aguas de la ducha, de lavamanos, de pilas, la lavadora y otros implementos que no tengan una carga fecal o de sustancias ajenas a la higiene corporal o las labores típicas en la cocina. Para su tratamiento, las aguas grises entran en un primer contenedor llamado trampa de grasas donde se separan las grasas que flotan y los sólidos como restos de comida que se depositan en el fondo (Figura 1).



**Figura 1.** Los componentes típicos para filtrar aguas grises destinadas para su uso posterior en sistemas agrícolas<sup>30</sup>.

Las aguas que salen de la trampa de grasas pueden ser conducidas por un regulador de flujo o directamente al compartimento de filtración. Típicamente, el filtro consiste de una caja o una fosa que contiene piedras de diferentes tamaños (grandes abajo y más finos hacia arriba) y capas de arena y/o suelo como sustrato para plantas acuáticas que sirven como “biofiltros”. Los sistemas radiculares de las plantas acuáticas, en conjunto con microorganismos activos, depuran las aguas grises al reducir la carga de patógenos potenciales y eliminar compuestos contaminantes como jabones, detergentes y otras sustancias agregadas durante el uso de estas aguas en la casa.

30. Fuente: <https://cdn.crhoy.net/wp-content/uploads/2014/08/Biojardineria11.jpg>

Dependiendo de la composición y cantidad de aguas grises, se pueden adoptar diferentes opciones de tratamiento incluyendo trampas de mulch, filtros de grava, humedales o estanques, lodo activado, membranas y otros de mayor complejidad (Allen 2015). A mayor escala y complejidad, existe la opción de construir una red de colectores en las viviendas que transporten las aguas grises a una planta de tratamiento de aguas residuales para posteriormente ser aprovechadas para la producción agrícola.

Para maximizar los beneficios y de evitar riesgos potenciales por el uso de aguas grises en la agricultura se recomienda lo siguiente (Allen 2015):

- Utilizar jabones neutros y detergentes amigables con el ambiente que sean libres de fosfatos, colorantes y perfumes persistentes y otras sustancias problemáticas, con el fin de reducir la carga de las aguas grises con sustancias potencialmente nocivas
- Dependiendo del tratamiento previo, las aguas grises no deberían tener contacto directo con la parte comestible de la planta
- Procurar que el agua se infiltre rápido en el suelo para evitar malos olores
- Minimizar el contacto directo con las personas

Asegurar que la demanda por aguas grises sea lo suficientemente alta para evitar anegamiento

## ¿CUÁLES SON LOS REQUERIMIENTOS PARA SU IMPLEMENTACIÓN?

Los requerimientos para el establecimiento y mantenimiento de sistemas de uso de aguas grises dependen de la cantidad de aguas grises captadas, su carga de contaminación y las necesidades de tratamiento. No obstante, el establecimiento de unidades a nivel de familias es usualmente barato. Los mayores costos de inversión que se requieren son para la compra de las cajas o contenedores a ser utilizados como trampa de grasas, regulador de flujo y para el filtro biológico. Para reducir costos, muchas veces se pueden usar contenedores disponibles en las fincas que se aprovechan para las funciones mencionadas. Los otros costos para tubos y llaves de paso típicamente son menores (Cuadro 1).

**Cuadro 1.** Requerimientos para la implementación de aguas grises.

Requerimiento	Establecimiento*	Mantenimiento*
Mano de obra	1-2	1-2
Inversión o capital	1-2	1
Infraestructura	2	1
Maquinaria	1-2	1
Insumos biológicos	1	1

\*Nivel de costo: 1=bajo, 2=medio, 3=alto

## ¿QUÉ OTROS BENEFICIOS Y COBENEFICIOS APORTA ESTA PRÁCTICA?

### Beneficios esperados en la producción agrícola y/o pecuaria

El primer beneficio de reciclar aguas grises es el disponer de más aguas para la agricultura sin tener que usar más agua fresca; por ende, se genera un beneficio en el balance hídrico local. Además, cuando las aguas grises se filtran adecuadamente se reduce su carga de contaminantes, generando una reducción de contaminación ambiental cuando estas aguas tratadas se usan para la producción agrícola. Dependiendo de la carga de contaminantes y del sistema de tratamiento, las aguas tratadas pueden ser utilizadas también para el lavado de establos o para el compostaje de desechos de animales, de nuevo generando un ahorro al sustituir por el uso de agua fresca adicional. Finalmente, en algunos casos las aguas grises aportan una cierta cantidad de nutrientes lo cual puede representar una disminución en el costo de fertilización del terreno, contribuyendo a la economía de los productores (WHO 2006).

Los cobeneficios más importantes son derivados de una mayor disponibilidad de agua para la producción. Por ende, se genera un gran aporte para la conservación de agua y se puede generar una mayor estabilidad de la producción, la cual contribuye a una mayor seguridad alimentaria. Además, al filtrar las aguas activamente se reduce el potencial de causar contaminación en aguas superficiales y ríos o quebradas que se hubiera podido dar sin el empleo de las biojardineras (Cuadro 2).

**Cuadro 2.** Cobeneficios esperados con el uso de aguas grises.

Socioeconómicos	Nivel o grado*	Ambientales	Nivel o grado*
Diversificación de la producción	2	Conservación de agua	3
Estabilidad en la producción	2 a 3	Conservación de biodiversidad	1
Empleo	N/A**	Conservación de suelo	2
Seguridad alimentaria	3	Reducción de gases de efecto invernadero (GEI)	N/A**
Ingreso	2	Captura de carbono	N/A**

\*Nivel de beneficios: 1=bajo, 2=medio, 3=alto

\*\*NA: no aplica

## CASOS DE ÉXITO

El proyecto “Mesoamérica sin Hambre” construyó repositorios para almacenar agua de fuentes naturales con el fin de lavar ropa y, luego de conducir el agua utilizada por filtros, reutilizar estas aguas grises para regar cultivos agrícolas y almácigos de café (figura 2, MAGA-FAO 2016).



**Figura 2.** Repositorios de almacenamiento de aguas grises.

En Costa Rica, cada vez más productores implementan sistemas llamadas “biojardineras” para filtrar las aguas grises de las casas con el fin de poder utilizarlos para el riego de cultivos agrícolas (Figura 1). Sin duda, dado la escasez cada vez mayor de agua en la mayoría de las zonas agrícolas de América Latina y el Caribe, es imperativo de lograr una adopción más amplia, así como la adaptación de diferentes sistemas para tratar y usar aguas grises bajo las condiciones de cada situación. El documental de Montes (2009)<sup>31</sup> es un buen primer paso.

## REFERENCIAS

Allen L 2015. Manual de diseño para manejo de aguas grises para riego exterior. Greywater Action. 58 p. Consultado 28 Mayo 2017. Disponible en <https://greywateraction.org/wp-content/uploads/>

MAGA-FAO 2016. Jocotán cuenta con una nueva pila de agua comunitaria. Ministerio de Agricultura y Ganadería, Guatemala, y Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. <http://www.prensalibre.com/economia/colocan-filtros-de-aguas-grises-para-reutilizarlas-en-agricultura>

Montes A 2009. Recuperación y reciclado de aguas grises. Documental (5:20 min) para explicar la instalación y el uso de 3 tipos de biojardineras baratas. <https://youtu.be/C9PIwuDIOz8>

WHO 2006. Guidelines for the use of wastewater, excreta and greywater: Policy and regulatory aspects. 1 ed. París, France. World Health Organization Organization 114 p.

---

31. <https://youtu.be/C9PIwuDIOz8>

## FICHA TÉCNICA: RIEGO Y FERTIRRIEGO EFICIENTE<sup>32</sup>



### ¿QUÉ ES EL RIEGO Y FERTIRRIEGO EFICIENTE?

El abastecimiento de agua y un sistema de riego eficiente constituyen el punto de partida para las actividades agrícolas y ganaderas. Estas actividades económicas de alto consumo de recursos hídricos requieren de acciones estratégicas que propicien aumentar la eficiencia de utilización del agua en el proceso de transformación insumo-producto y mejoren además los rendimientos de los cultivos, para generar mayor volumen de producto agrícola. Una de las estrategias adoptadas es la tecnificación y modernización del riego agrícola, para pasar de un sistema de riego por gravedad a uno con mayor eficiencia (fertirriego, riego por goteo, microaspersión etc.) con el fin de producir más con menos agua (Olvera et ál. 2014).

### ¿QUÉ ES EL RIEGO Y FERTIRRIEGO EFICIENTE?



### ¿EN CUÁLES ZONAS AGROECOLÓGICAS Y AGROECOSISTEMAS TIENEN MAYOR POTENCIAL DE APLICACIÓN?

El riego es indispensable en zonas secas con limitantes permanentes o temporales de agua; así como para la producción en ambientes protegidos (una modalidad de producción cada vez más importante a nivel mundial). Además, el riego tiene mayor importancia en suelos arenosos y con bajos contenidos de materia orgánica, ya que este tipo de suelos posee una capacidad de retención de humedad muy baja.

32. Fotos de izquierda a derecha. 1. Riego por goteo en campo abierto (Carlos Valenciano INTA Argentina, 2015). 2. Sistema de fertirrigación valle de Punata, en el departamento de Cochabamba en Bolivia (Abad Conde 2016.)

## ¿CÓMO CONTRIBUYE A REDUCIR LA VULNERABILIDAD AL CAMBIO CLIMÁTICO?

El riego permite producir cultivos independientemente de la disponibilidad de agua de lluvias. Con el cambio climático la disponibilidad de agua de lluvia es menos predecible y cada vez más productores, que antes no sufrían de falta de agua, tienen que tomar medidas de adaptación para proteger sus cultivos, tanto contra lluvias excesivas como contra la falta de agua en otros momentos (Martínez-Rodríguez et ál. 2017). La posibilidad de usar riego se convierte en una herramienta importante para enfrentar esta incertidumbre y asegurar el suministro de agua a los cultivos cuando lo necesitan. Tanto el riego como el fertirriego disminuyen la vulnerabilidad al cambio climático al reducir el consumo de agua, al hacer frente a limitantes de agua de lluvia y al extender el periodo productivo durante la estación seca.

## ¿QUÉ SISTEMAS HAY Y CÓMO SE ESTABLECEN?

Los métodos tradicionales de riego superficial por agua distribuida por gravedad son poco eficientes debido a la alta inversión para establecer y mantener los canales de riego y a la pérdida importante de agua por infiltración y evaporación en el camino de distribución. En contraste, los sistemas de riego presurizado, con distribución de agua por tuberías tienen una mayor eficiencia de aprovechamiento de agua porque minimizan estas pérdidas de agua. En general, los sistemas de riego se consideran eficientes cuando al menos el 70% del agua utilizada llega efectivamente a los cultivos (Tapia et ál. 1999).

Los sistemas de riego presurizado incluyen el riego por aspersión, microaspersión y goteo. Estos tres métodos trabajan con presiones y caudales generados por gravedad o por una bomba. A continuación, se presentan tres sistemas con eficiencias de uso de agua hasta de más del 90%:



**1. Riego por aspersión:** el método de riego por aspersión tiene hasta un 70% de eficiencia en la aplicación. La principal característica es el uso de aspersores para aplicar el riego, que se pueden montar en diferentes diseños en la parcela según la distribución de los cultivos.

Para su funcionamiento es preciso implementar un sistema cerrado de distribución de agua, usualmente por tuberías y mangueras, a los cuales se conectan los aspersores. Existen aspersores que trabajan desde una presión de 0,7 bares y un caudal de 0,15 litros por segundo (Carrazón-Alocén 2007).



**2. Riego por microaspersión:** el método de riego por microaspersión tiene hasta un 85% de eficiencia en la aplicación.

La principal característica es el uso de aspersores de volumen bajo, pero la aplicación se hace con mayor frecuencia para reponer la lámina de riego. Como el área que un microaspersor puede mojar es más pequeña, se requiere un mayor número de estos comparada con los aspersores mencionados anteriormente. Existen microaspersores que trabajan desde una presión de 0,7 bares y un caudal de 0,05 litros por segundo (Tun Dzul et ál. 2016).





**3. Riego por goteo:** es el método de riego más eficiente, ya que permite dirigir mejor el agua a las zonas radiculares de los cultivos. Con este sistema, se logra hasta un 90% de eficiencia de uso de agua. La aplicación de agua es más localizada, en forma de gotas a través de emisores. La descarga de los emisores fluctúa comúnmente entre 2 a 4 litros por hora por gotero. El agua se suministra a intervalos más cortos y en pequeñas cantidades, dirigidos directamente a la raíz de cada planta.

El fertirriego puede adaptarse a cualquiera de los tres métodos anteriores, asegurando el uso de fertilizantes altamente solubles para evitar problemas de precipitación de sustancias en la tubería o en los puntos de entrega de agua. Se utiliza regularmente un equipo de inyección para mezclar el fertilizante con el agua de riego antes de entrar en la red de distribución. Además, es esencial utilizar un filtro para evitar el ingreso de partículas que pueden taquear al sistema de riego.

### ¿CUÁLES SON LOS REQUERIMIENTOS PARA SU IMPLEMENTACIÓN?

Los requerimientos para su implementación varían según el tipo de sistema de riego y fertirriego. De manera general, estos sistemas tecnificados tienen mayores costos de inversión comparados con los sistemas tradicionales de riego por gravedad (Vieira 2008). Aparte del costo de inversión para los materiales y su instalación correcta, estos sistemas de riego requieren de un mantenimiento continuo para asegurar que no se taquean los puntos de entrega del agua. Los requerimientos se resumen en el Cuadro 1.

**Cuadro 1.** Requerimientos para la implementación de la práctica de riego y fertirriego.

Requerimiento	Establecimiento*	Mantenimiento*
Mano de obra	2	1
Inversión o capital	2 a 3	2
Infraestructura	2 a 3	1
Maquinaria	2	1
Insumos biológicos	1	1

\*Nivel de costo: 1=bajo, 2=medio, 3=alto

### ¿QUÉ OTROS BENEFICIOS Y COBENEFICIOS APORTA ESTA PRÁCTICA?

#### Beneficios esperados en la producción agrícola y/o pecuaria

El beneficio principal de usar estas técnicas de riego y fertirriego eficiente es de ahorrar cantidades sustanciales de agua (en algunos casos hasta más del 50%) para enfrentar mejor los tiempos de escasez. Al mismo tiempo, estos sistemas tienden a aumentar la productividad de los cultivos bajo riego, contribuyendo a la seguridad alimentaria. Al mismo tiempo, permiten evitar la erosión del suelo

y reducen la germinación y el crecimiento de malezas. Este beneficio es particularmente grande en el caso del riego por goteo, porque el sistema busca entregar el agua solamente donde se ocupa por parte del cultivo. De esta manera, se evita humedecer superficies que pueden ser colonizadas fácilmente por malezas. Finalmente, el sistema de riego por goteo también permite usar aguas grises siempre y cuando estos no estén contaminados de manera excesiva o hayan sido filtrados y tratados adecuadamente.

Los cobeneficios más importantes son la conservación de agua, una mayor estabilidad de la producción y contribuciones positivas para la seguridad alimentaria y el ingreso generado. El Cuadro 2 presenta los cobeneficios principales de implementar esta práctica desde la dimensión socioeconómica y ambiental.

**Cuadro 2.** Cobeneficios esperados con el uso de composta y lombricompost.

Socioeconómicos	Nivel o grado*	Ambientales	Nivel o grado*
Diversificación de la producción	2	Conservación de agua	3
Estabilidad en la producción	3	Conservación de Biodiversidad	1
Empleo	2	Conservación de suelo	2
Seguridad alimentaria	3	Reducción de GEI	1
Ingreso	3	Captura de carbono	1

\*Nivel de beneficios: 1=bajo, 2=medio, 3=alto

## CASOS DE ÉXITO



**Producción de hortalizas en ambientes controlados en el valle de Mexicali:** En esta zona desértica con temperaturas extremas, alta insolación, baja humedad relativa, escasa precipitación, suelos arenosos con alta concentración de sales y pH mayor a 8, la Secretaría de Fomento Agropecuario del Gobierno de Baja California y el FONAES de México fomentaron la producción en invernaderos con fertirriego. En este proyecto altamente exitoso, el fertirriego por goteo fue una parte central del paquete de tecnologías agrícolas. Los rendimientos alcanzaron hasta 21,4 kg de jitomate por metro cuadrado, o sea dos a tres veces encima de los rendimientos típicos en una producción convencional.

La aplicación local de agua y nutrientes del fertirriego por goteo en la zona de absorción de cada planta, así como la dosificación según la demanda del cultivo permitieron evitar la acumulación de sales a niveles que pueden afectar a las raíces. Como consecuencia, las plantas tuvieron un desarrollo muy favorable al mismo tiempo que este sistema de riego permitió lograr la mayor eficiencia de uso de agua (Vásquez-Villanueva 2011). Sin duda, esta iniciativa, y muchas otras similares en LAC ilustran el gran potencial ofrecido por esta innovación para reducir la vulnerabilidad de la producción agrícola hacia eventos climáticos extremos. La flexibilidad de establecer sistemas eficientes de riego tanto en ambientes controlados como a cielo abierto permite utilizar estos sistemas en la mayoría de las zonas agrícolas de LAC.

## REFERENCIAS

Carrazón-Alocén J. 2007. Manual práctico para el diseño de sistemas de miniriego. FAO, Roma, Italia.

Martínez-Rodríguez MR, Viguera B, Donatti CI, Harvey CA, Alpizar F 2017. Cómo enfrentar el cambio climático desde la agricultura: Prácticas de adaptación basadas en ecosistemas (AbE) 1ed. Turrialba, Costa Rica. 41 p. (Módulo 4).

Olvera-Salgado, M. D., Bahena-Delgado, G., Alpuche-Garcés, O. & García-Matías, F. (2014). La tecnificación del riego ante la escasez del agua para la generación de alimentos. Estudio de caso en Chihuahua, México. *Ambiente y Desarrollo*, 18(35), 23-36.

Tapia Contreras F, Osorio Ulloa A 1999. Conceptos sobre diseño y manejo de riego presurizado. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. 28 p.

Tun, D. J. C.; Ramírez, J. G.; Cano, G. A. J. y Sánchez, C. I. 2014. Manejo eficiente del riego por microaspersión en huertas de naranja dulce del sur de Yucatán. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Centro de Investigación Regional Sureste. Campo Experimental Mocochoá. Mérida, Yucatán, México. 29 p.

Vásquez-Villanueva N 2011. Programa de documentación de casos de éxito. Fundación Produce Baja California e IICA (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura) (eds.). 63 p. Consultado 3 jun. 2017. Disponible en <https://www.redinnovagro.in/casosexito/03bchortalizas.pdf>

Vieira M 2008. El desarrollo del microrriego en América Central. FAO - Oficina Regional para América Latina y el Caribe.

## FICHA TÉCNICA: AGROFORESTERÍA PARA PROTEGER RÍOS, LAGOS Y LAGUNAS<sup>33</sup>



### ¿QUÉ ES LA AGROFORESTERÍA PARA PROTEGER RÍOS, LAGOS Y LAGUNAS?

Esta práctica usa árboles, arbustos y otras plantas adyacentes a cuerpos de agua tales como quebradas, charcas, lagos y humedales, con el objetivo de proteger suelos de erosión y de proteger cuerpos de agua y la calidad del agua de potenciales impactos negativos provenientes de tierras agrícolas. Estos “amortiguadores ambientales” pueden diseñarse para producir ingresos al tiempo que conservan los recursos naturales. Las raíces de los árboles y arbustos a lo largo de los cuerpos de agua y zanjas estabilizan el suelo y filtran contaminantes en las aguas de escorrentía que pueden

33. Fotos de izquierda a derecha. 1. Lagunas artificiales establecidas en un paisaje semiárido y fuertemente deforestado en la Cordillera Central de Haití. Las orillas de las lagunas recientemente establecidas pueden ser protegidas con siembra de Vetiver u otras gramíneas perennes con sistemas radiculares fuertes. 2 y 3. A los años, las lagunas permiten de “reverdecer” al ambiente. (Fotos cortesía de Reinhold Muschler).

traer sedimentos, nutrientes y contaminantes químicos y biológicos antes de que lleguen a cuerpos de agua (Bichier 2006). Esto ayuda a mantener las aguas limpias para uso recreativo, doméstico, y para organismos acuáticos y otras especies de vida silvestre (Farrell y Altieri 1999).

### ¿CUÁLES SON SUS BENEFICIOS?



### ¿EN CUÁLES ZONAS AGROECOLÓGICAS Y AGROECOSISTEMAS TIENE SU MAYOR POTENCIAL DE APLICACIÓN?

A pesar de que la agroforestería es apropiada para una amplia gama de predios de diversos tamaños y condiciones socioeconómicas, su potencial ha sido particularmente reconocido para los pequeños agricultores en áreas marginales y pobres de regiones tropicales y subtropicales y, particularmente, en situaciones con cuerpos de agua (naturales y artificiales) importantes para sistemas de riego. Si se considera que los campesinos generalmente no son capaces de adoptar tecnologías muy costosas y modernas, que han sido pasados por alto por la investigación agrícola y que no tienen poder social o político de discernimiento, la agroforestería se adapta particularmente a las realidades de los pequeños agricultores.

### ¿CÓMO CONTRIBUYE A REDUCIR LA VULNERABILIDAD AL CAMBIO CLIMÁTICO?

Las plantas perennes (gramíneas como vetiveria, árboles y arbustos) con raíces profundas y permanentes estabilizan el suelo a lo largo de ríos y alrededor de lagos o lagunas. Estas plantas moderan el microclima al reducir temperaturas extremas, así como la velocidad del viento y, por ende, reducen pérdidas de agua por evaporación. De esta manera, conservan aguas y suelos y reducen el impacto de eventos extremos de cambio climático. Adicionalmente, estas plantas pueden proveer un hábitat para fauna, flora y microorganismos benéficos para la prevención y el control de plagas y enfermedades en cultivos cercanos.

### ¿CÓMO SE ESTABLECE?

Para una mayor rapidez en el establecimiento de esta práctica, se recomienda el uso de plántulas con raíces y estacas de árboles que crecen rápidamente. Cuando estas plantas pioneras están bien establecidas y proveen sombra, se pueden introducir otras plantas bajo la protección de estas plantas más altas, muchas veces llamadas “plantas nodrizas” por sus efectos de protección. El Cuadro 1 resume otros requerimientos.

**Cuadro 1.** Requerimientos para la implementación de la agroforestería.

Requerimiento	Establecimiento*	Mantenimiento*
Mano de obra	2-3	1
Inversión o capital	1-2	1
Infraestructura	N/A**	N/A
Maquinaria	N/A	N/A
Insumos biológicos	2-3 (plántulas)	1

\*Nivel de beneficios: 1=bajo, 2=medio, 3=alto

\*\*NA: no aplica

## ¿QUÉ OTROS BENEFICIOS Y COBENEFICIOS APORTA ESTA PRÁCTICA?

### Beneficios esperados en la producción agrícola y/o pecuaria

La moderación del microclima protege a los cuerpos de agua del impacto de eventos extremos (lluvia, sequía, vientos). Como resultado de una mejorada estructura del suelo y la presencia de una capa de hojarasca, el agua que llega al suelo se utiliza más eficientemente debido al incremento de la filtración y permeabilidad, reduciendo la evaporación y el escurrimiento superficial. La reducción de la evaporación de agua permite conservar el agua durante más tiempo para el riego de cultivos, para uso pecuario y/o para acuicultura. El Cuadro 2 presenta los cobeneficios principales de implementar la práctica de agroforestería desde la dimensión socioeconómica y en la dimensión ambiental.

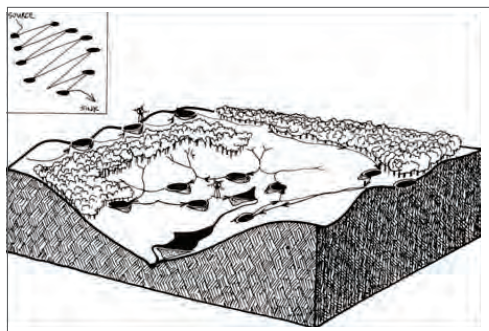
**Cuadro 2.** Cobeneficios esperados con el uso de la agroforestería.

Socioeconómicos	Nivel o grado*	Ambientales	Nivel o grado*
Diversificación de la producción	2-3	Conservación de agua	3
Estabilidad en la producción	2-3	Conservación de biodiversidad	3
Empleo	1	Conservación de suelo	3
Seguridad alimentaria	1	Reducción de GEI	1 (por fijación de N)
Ingreso	1	Captura de carbono	3

\* Nivel de beneficios: 1=bajo, 2=medio, 3=alto

## CASOS DE ÉXITO

La combinación del establecimiento de lagos o lagunas artificiales con la siembra de cordones de vegetación alrededor permite establecer puntos de “oasis” como núcleos para recuperar cobertura vegetativa en zonas secas y degradadas. Por ejemplo, en Haití, el país de mayor degradación ambiental en América Latina y el Caribe, se han establecido, con gran éxito, más de 120 lagos artificiales en la Cordillera Central durante los últimos 20 años (ver las fotos arriba; Gantheret 2010; Nicolas 2010). En estos lugares, los lagos artificiales retienen el agua de lluvia a la mayor elevación sobre el nivel del mar, con el fin de poder maximizar su uso en sistemas de riego por gravedad en las zonas abajo de los lagos (Mollison 1996; Fig. 1).



**Figura 1.** El establecimiento de lagunas artificiales en la cuenca alta permite retener agua en zonas altas con el fin de poder utilizarlo a lo largo de su flujo por gravedad hacia el mar (fuente: Mollison 1996).

Una vez que los lagos son establecidos y comienzan a retener agua de lluvia, se reducen inundaciones río abajo y la humedad retenida permite establecer árboles y arbustos de uso múltiple alrededor de los lagos. Estas plantas pueden servir también como fuente de forraje para animales estabulados. A lo largo del tiempo, se reestablecen los servicios ecosistémicos (hábitat para polinizadores, conservación de aguas y suelos) y el agua de las lagunas puede alimentar a un sistema creciente de riego. Adicionalmente, se pueden producir peces y otros animales en y alrededor de las lagunas como fuentes adicionales de ingreso y alimento de alta calidad.

El éxito de estos esfuerzos para rehabilitar cuencas degradadas con el apoyo de la comunidad, aún bajo las condiciones extremas como las de Haití, comprueba el gran potencial de aplicar prácticas de agroforestería. A mediano plazo, es necesario enriquecer el sistema con otros ingredientes (frutales, maderables, abejas, hortalizas, medicinales, etc.) hasta que evolucione hacia un sistema permanente de alta biodiversidad que permita maximizar las funciones de producción y protección ambiental al mismo tiempo (Muschler 2016). Si estos sistemas se han podido establecer en Haití, bajo condiciones más limitantes que en otros países del hemisferio, su éxito en otros países será todavía mucho más grande. Sin duda, el establecimiento de lagunas artificiales con cordones de protección vegetativa será una práctica de cada vez mayor importancia para zonas agrícolas en América Latina y el Caribe.

## REFERENCIAS

Bichier, P. (2006). La Agroforestería y el Mantenimiento de la Biodiversidad. Action Bioscience. org. Disponible desde Internet en <http://www.actionbioscience.org/esp/biodiversidad/bichier.html>

Farrell, J. Altieri, M. (1999). Sistemas agroforestales. Pp 229-243 en: Altieri M (ed.) Agroecología. Bases científicas para una agricultura sustentable. Nordan Comunidad.

Gantheret, L. 2010. Capitaines de l'esperance. Film documentary about the successful establishment of artificial lakes in the Central Highlands of Haiti. Argus Productions, Port-au-Prince, Haiti. 52 min.

Mollison, B. 1996. Permaculture. A Designer's Manual. Tagari Publications, Tyalgum, Australia. 576 pp.

Muschler, RG. 2016. Agroforestry: essential for climate-smart landuse? Pp. 2013-2116 In: Pancel L, Köhl M (eds.). Tropical Forestry Handbook, 2nd ed. Springer. 4 Volumes. 3633 pp. DOI 10.1007/978-3-642-41554-8\_300-1

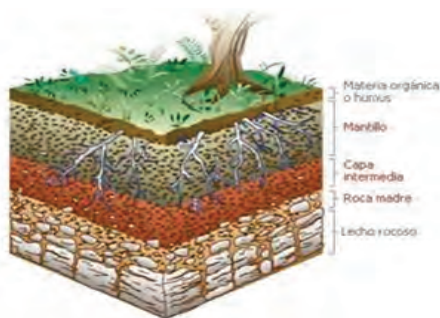
Nicolas M. 2010. Danser avec la Vie. Editions Nestor, Port-au-Prince, Haiti. 259 pp.

Un video corto sobre el programa de establecer lagos colinarios en Haiti (4 min): <https://www.youtube.com/watch?v=T3Y08-IKIDM>

# INNOVACIÓN: SUELO

- Manejo integrado de fertilidad de suelos
- Manejo de materia orgánica y biocarbóno
- Labranza de conservación y labranza cero
- Terrazas
- Barreras vivas
- Microorganismos benéficos para la agricultura
- Cobertura de suelo y abonos verdes

## FICHA TÉCNICA: MANEJO INTEGRADO DE LA FERTILIDAD DE SUELOS<sup>34</sup>



### ¿QUÉ ES EL MANEJO INTEGRADO DE FERTILIDAD DE SUELOS?

El “Manejo Integrado de la Fertilidad de Suelos” (MIFS) consiste en un conjunto de prácticas agrícolas que combinan el uso de fertilizantes sintéticos con materiales orgánicos y otras enmiendas, con el fin de aumentar la producción y la eficiencia de uso de los insumos, especialmente en pequeñas explotaciones agropecuarias.

### ¿CUÁLES SON SUS BENEFICIOS?



## ¿EN CUÁLES ZONAS AGROECOLÓGICAS Y AGROECOSISTEMAS TIENE MAYOR POTENCIAL DE APLICACIÓN?

Idealmente, el “Manejo Integrado de la Fertilidad de Suelos” (MIFS) debería ser una práctica estándar para todas las tierras bajo manejo agrícola convencional. Sin embargo, es de importancia particular para áreas degradadas donde los suelos han sido sujetos a la pérdida de la cobertura vegetal, a erosión, y a los impactos negativos de la aplicación excesiva de agroquímicos, causando la acidificación de suelos, la pérdida de materia orgánica y la acumulación de residuos de agroquímicos. Típicamente, estos impactos negativos son responsables por un descenso de la productividad agrícola como resultado de una degradación de las características físicas, químicas y biológicas del suelo, la cual incrementa su vulnerabilidad ante los agentes erosivos.

## ¿CÓMO CONTRIBUYE A REDUCIR LA VULNERABILIDAD AL CAMBIO CLIMÁTICO?

El MIFS consiste en un conjunto de prácticas agroecológicas que combinan el uso de fertilizantes sintéticos con materiales y enmiendas orgánicos con el fin de aumentar la retención y eficiencia de uso de los insumos. Estas mejoras contribuyen a una mayor producción y fomenta una mayor estabilidad de la producción aún bajo condiciones extremas y variaciones de la precipitación como resultado del CC. Consecuentemente, el MIFS ayuda a reducir la vulnerabilidad al cambio climático al mismo tiempo que puede beneficiar a la seguridad alimentaria y los ingresos de los productores. Al sustituir una parte de los fertilizantes nitrogenados sintéticos por fuentes naturales, se pueden reducir las emisiones de óxido nitroso, uno de los gases de efecto invernadero más preocupantes. Finalmente, a largo plazo, suelos mas fértiles también pueden secuestrar mayores cantidades de carbono derivado de las raíces y otros restos de los cultivos y árboles creciendo en ellos (Roobroeck et ál. 2015).

## ¿CÓMO SE ESTABLECE?

El MIFS se basa en los siguientes principios: las prácticas basadas solo en fertilizantes químicos no son suficientes para lograr una producción agrícola sostenible ni tampoco las que solo se basan en la aplicación de materia orgánica. Por ende, se requiere de la combinación optima de las dos en función de las condiciones ambientales de cada situación. La fertilidad del suelo es un conjunto de muchos parámetros físicos, químicos y biológicos (Figura 1).



Figura 1. Parámetros principales que determinan la fertilidad del suelo y su capacidad de retener y hacer disponible macronutrientes, micronutrientes y agua<sup>35</sup>.

35. Fuente: <https://image.slidesharecdn.com/1-150102233426-conversion-gate01/95/tcnicas-para-el-mantenimiento-de-la-fertilidad-del-suelo-1-2-638.jpg?cb=1420242233>



Para lograr un uso eficiente de los nutrientes disponibles es necesario contar con (1) un suelo capaz de retener los nutrientes y entregarlos paulatinamente, (2) cultivos adaptados y productivos que sean lo más resistente posible a plagas y enfermedades, y (3) la aplicación de buenas prácticas agronómicas, incluyendo la fecha ideal de siembra, la óptima densidad de siembra, el asocio beneficioso de diferentes cultivos, la rotación y el control efectivo de malezas. Además, es de central importancia de conocer las necesidades nutricionales de los cultivos, así como el momento de mayor demanda de cada nutriente para poder sincronizar el suministro de nutrientes con la demanda al aplicar los cuatro “C” de la fertilización efectiva: cuáles, cuándo, cuánto y cómo (ASAC, 2012).

Además de esos principios, el MIFS reconoce la necesidad de considerar los balances de nutrientes a lo largo de los ciclos de rotación de cultivos, las cuales, de preferencia, deberían incluir leguminosas por sus aportes de nitrógeno atmosférico fijado por ellas (ASAC 2012). El Cuadro 1 resume las técnicas más importantes del MIFS:

**Cuadro 1. Técnicas del manejo integrado de fertilización de suelos.**

<b>Técnicas comunes de manejo Integrado de fertilización de suelos</b>
<b>Reciclaje y aprovechamiento de los rastrojos en el terreno</b>
<b>Producción de alimento alternativo para el ganado en verano (la estación seca), incluyendo diferentes formas de conservación de forraje</b>
<b>Enriquecimiento de los rastrojos de gramíneas con especies leguminosas (abonos verdes)</b>
<b>Procesamiento y aprovechamiento del estiércol del ganado</b>
<b>Reducción de las pérdidas de suelo y nutrientes por erosión</b>
<b>Suministro adecuado de nutrientes (dosis y época), según las características del suelo y de los cultivos (sincronización de la oferta según la demanda)</b>
<b>Ubicación correcta de fertilizantes</b>
<b>Selección de fuentes de nutrientes más adecuadas y baratas</b>

Fuente: modificado de Roobroeck et ál. 2015.

## ¿CUÁLES SON LOS REQUERIMIENTOS PARA SU IMPLEMENTACIÓN?

En general, los requerimientos para MIFS son bajos, excepto por la mano de obra necesaria para la producción, el procesamiento y la aplicación de mayores cantidades de biofertilizantes como complemento a la fertilización con materiales sintéticos en caso de alta demanda nutricional (Cuadro 2).

<b>Requerimiento</b>	<b>Establecimiento*</b>	<b>Mantenimiento*</b>
<b>Mano de obra</b>	2-3	1-2
<b>Inversión o capital</b>	2	1-2
<b>Infraestructura</b>	1	1
<b>Maquinaria</b>	1-2	1
<b>Insumos biológicos</b>	1-2	1-2

\*Nivel de costo: 1=bajo, 2=medio, 3=alto

## ¿QUÉ OTROS BENEFICIOS Y COBENEFICIOS APORTA ESTA PRÁCTICA?

### Beneficios esperados en la producción agrícola y/o pecuaria

La implementación de MIFS permite aumentar la productividad debido a un efecto sinérgico que se genera generalmente por la combinación de fertilizantes orgánicos y químicos. Muchas veces, este beneficio también se refleja en una mayor capacidad de retención y en una mayor eficiencia en el aprovechamiento de las lluvias y también de los fertilizantes químicos nitrogenados, lo cual, por ende, permite ahorrar fertilizantes nitrogenados con beneficios ambientales al reducir el potencial de contaminación de aguas con nitratos (ASAC 2012; Roobroeck et al. 2015). Finalmente, el MIFS también empodera a los agricultores al aumentar su conocimiento técnico y su capacidad de tomar decisiones sobre una gama de temas incluyendo la posibilidad de realizar cambios en el uso del suelo, la implementación de rotaciones de cultivos, así como una mayor integración entre los sistemas forestales, pecuarios y agrícolas como parte de la intensificación y diversificación agroecológica (Clements et al. 2013). Por sus efectos benéficos que aumentan la fertilidad de los suelos y, por ende, su productividad, MIFS genera muchos cobeneficios a niveles intermedios a altos (Cuadro 3).

**Cuadro 3.** Cobeneficios esperados con el manejo integrado de fertilidad de suelos.

Socioeconómicos	Nivel o grado*	Ambientales	Nivel o grado*
Diversificación de la producción	1-2	Conservación de agua	1-2
Estabilidad en la producción	2-3	Conservación de Biodiversidad	1-2
Empleo	2	Conservación de suelo	2
Seguridad alimentaria	2-3	Reducción de gases de efecto invernadero (GEI)	2
Ingreso	2-3	Captura de carbono	2

\*Nivel de beneficios: 1=bajo, 2=medio, 3=alto

## CASOS DE ÉXITO



Un caso exitoso viene de sistemas agrícolas en zonas de ladera de El Salvador. Uno de los problemas más serios que afecta la agricultura en El Salvador es el avanzado deterioro de los recursos naturales, especialmente en las zonas de ladera, donde se asienta la mayoría de los pequeños productores y productoras agropecuarios. En estas áreas hay graves problemas de degradación de tierras y de la fertilidad de los suelos.

Para enfrentar este problema, los proyectos CENTA-FAO-Holanda “Agricultura Sostenible en Zonas de Ladera”, el “Proyecto de Desarrollo Rural para Chalatenango” (PROCHALATE) y el “Programa de Agricultura Sostenible en Laderas de América Central” (PASOLAC), cada uno en su

ámbito de acción, promovieron el uso racional y rentable de los recursos naturales y el mejoramiento de los ingresos y condiciones de vida de la familia rural.

El manejo integrado de la fertilidad de suelo fue una de las técnicas claves usadas para este cometido, enfocada en los siguientes aspectos (Viera et ál. 1998):

- El mejoramiento del estado físico y biológico del suelo para facilitar el crecimiento de las raíces (como resultado del fomento de organismos beneficiosos para reducir la compactación y aumentar el número de canales y galerías en suelo, y, de esta manera, mejorar la aireación, infiltración y retención de humedad).
- El uso de plantas de cobertura y abonos orgánicos para aumentar el contenido y de la calidad de la materia orgánica y el reciclaje de nutrientes en el sistema de producción.
- La optimización de la nutrición de plantas al combinar fertilizantes minerales con abonos orgánicos de origen animal y vegetal, lo cual permitió reducir la dependencia de fertilizantes sintéticos.
- El mejoramiento de los sistemas de labranza para reducir la degradación de los suelos y para minimizar la pérdida de nutrientes por erosión, volatilización o lixiviación.

Sin duda, la conservación de los suelos es clave para la sostenibilidad agrícola, aún más, bajo el mayor estrés causado por el cambio climático.

## REFERENCIAS

ASAC 2012. La Guía ASAC (Agricultura Sostenible Adaptada al Clima). Manejo Integrado de la Fertilidad del Suelo (MIFS), ÁFRICA. Disponible en: <https://es.csa.guide/csa/integrated-soil-fertility-management-isfm#chapter-1>

Clements, R., Haggard, J., Quezada, A., & Torres, J. (2013). Tecnologías de adaptación al cambio climático: Sector Agropecuario. Disponible en: <http://repositorio.solucionespracticas.org.pe:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/50/1351412201482991436.pdf?sequence=1>

Roobroeck, D; van Asten, P; Jama, B; Harawa, R; Vanlauwe, B. 2015. Integrated soil fertility management: Contributions of framework and practices to climate-smart agriculture (Climate-Smart Agriculture Practice Brief). Disponible en <https://cgspace.cgiar.org/bitstream/handle/10568/69018/CCAFSpbSoil.pdf>

Viera, M; Ochoa, L; Sauer, E; Fischler, M; Marin, X. 1998. Manejo integrado de la fertilidad del suelo en zonas de ladera (En línea). Gonzalez, N (ed.). El Salvador. 100 p. (Serie manejo de tierras). Disponible en [www.fao.org/docrep/field/009/ar824s/ar824s.pdf](http://www.fao.org/docrep/field/009/ar824s/ar824s.pdf)

## FICHA TÉCNICA: BIOCARBÓN COMO MEJORADOR DE SUELOS<sup>36</sup>



### ¿QUÉ ES EL BIOCARBÓN?

El biocarbón es un tipo de carbón generado por la transformación de materia orgánica a través de un proceso de pirólisis a baja temperatura (< 700 °C) y con un mínimo de oxígeno, el cual se produce con el fin de incorporarlo al suelo. Es un material altamente estable que ofrece muchos beneficios, incluyendo la mitigación de cambio climático, la generación de energía (durante su producción), el mejoramiento de la fertilidad de suelo y el manejo de residuos.

### ¿CUALES SON SUS BENEFICIOS?



### ¿EN CUÁLES ZONAS AGROECOLÓGICAS Y AGROECOSISTEMAS TIENE MAYOR POTENCIAL DE APLICACIÓN?

La aplicación de biocarbón tiene su mayor beneficio potencial en suelos degradados, pobres o bajos en materia orgánica. Como la presencia de biocarbón tiende a aumentar el contenido de materia orgánica y, por ende, la capacidad de un suelo en retener nutrientes y agua, los beneficios del biocarbón se pueden dar tanto en zonas húmedas como en zonas secas (Scholz et al. 2014), y para todo tipo de cultivos, incluyendo tantos cultivos anuales como perennes (p.e. frutales) y hasta en siembras forestales.

### ¿CÓMO CONTRIBUYE A REDUCIR LA VULNERABILIDAD AL CAMBIO CLIMÁTICO? ?

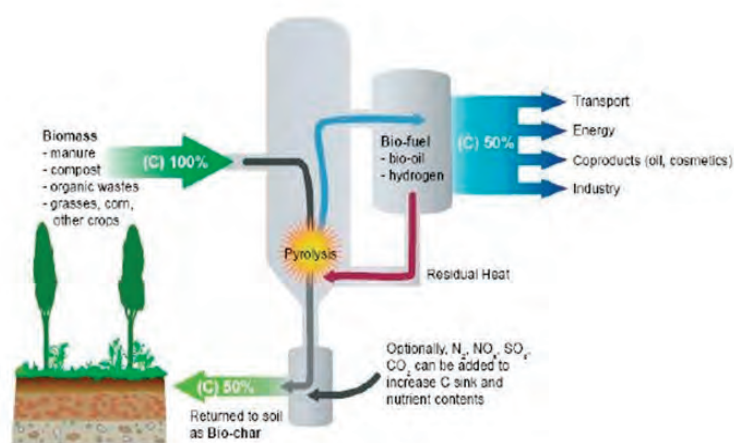
La aplicación de biocarbón al suelo tiende a estabilizar o incluso aumentar el contenido de materia orgánica, con lo cual aumenta la capacidad del suelo para retener nutrientes y agua. La materia orgánica propia del suelo es el producto de la descomposición de biomasa muerta de plantas, animales y de sus excreciones, así como de microorganismos. El contenido de materia orgánica de un

36. Fotos de izquierda a derecha. 1. Biocarbón. 2. Beneficios del biocarbón. 3. Las plantas que crecen en una mezcla de suelo con biocarbón son más vigorosas (cortesía de J. Lehmann, Cornell Univ.) Fuente: 1. <http://www.biocarbon.co/> y 2. <https://www.biocarbontech.com/technology>

suelo determina, en gran medida, las propiedades físicas, químicas y biológicas del mismo (Fenton et al., 2008). Aparte de estabilizar la materia orgánica, por su estructura porosa el biocarbón provee una superficie muy grande apta para retener nutrientes en el suelo, los cuales en ausencia de biocarbón y materia orgánica adecuada, podrían ser lixiviados fácilmente y, por ende, perdidos en ambientes con mucha lluvia. Al fomentar la retención de nutrientes y agua, el biocarbón reduce la vulnerabilidad del agroecosistema a eventos climáticos extremos (Scholz et al. 2014).

## ¿CÓMO SE PRODUCE Y USA EL BIOCARBÓN?

El biocarbón se genera como producto de una combustión incompleta debido a limitantes fuertes de oxígeno y temperaturas relativamente bajas (300 a 700 °C). Para la producción de biocarbón se pueden usar todo tipo de materias primas, incluyendo residuos agrícolas o forestales (Scholz et al. 2014). Existen muchas maneras de generar biocarbón; la forma más antigua es la carbonización lenta que se puede dar en ambientes húmedos donde los materiales leñosos son transformados por efecto de quemaduras lentas de material tapado. Otras formas de producción son mediante el uso de los hornos ahorradores modificados para reducir el flujo de oxígeno, así como en instalaciones comerciales para generar energía y biocarbón a través de la pirólisis de grandes volúmenes (Figura 1).



**Figura 1.** Producción y usos de biocarbón. El proceso de pirólisis es una quema controlada con un mínimo de oxígeno que permite transformar aproximadamente la mitad del carbono proveniente de materia orgánica como materia prima en energía renovable y la otra mitad en biocarbón (Fuente: J Lehmann, Cornell University)

Para la aplicación del biocarbón en sistemas agrícolas, éste puede ser mezclado fácilmente con abonos orgánicos como compostas, abonos verdes, y hasta con excrementos de animales o humanos (p.e. en inodoros de compostaje), con el fin de mejorar la estructura de estos materiales, aumentar la retención de nutrientes y humedad y fomentar la transformación microbiana y química antes de ser aplicados en terrenos agrícolas o forestales. El biocarbón también puede ser aplicado al suelo en sistemas de labranza de conservación (ver Ficha técnica “Labranza de conservación”) para mejorar la fertilidad del suelo.

La efectividad del biocarbón varía según la cantidad aplicada y las propiedades de un suelo dado. Para poder detectar un efecto marcado, muchas veces se requiere de cantidades superiores a 10 ton/ha (Lehmann y Joseph 2009). Las interacciones químicas y biológicas entre el biocarbón, las partículas del suelo y los microorganismos determinan el grado de beneficio que una aplicación de biocarbón puede generar. Queda mucho por investigar para poder identificar las condiciones que permiten optimizar el uso de biocarbón.

## ¿CUÁLES SON LOS REQUERIMIENTOS PARA SU IMPLEMENTACIÓN?

La aplicación de biocarbón tiene muy bajos requerimientos, excepto cuando haya que invertir en el transporte o en equipo para la elaboración de biocarbón (Cuadro 1). Los mayores requerimientos son derivados de la recolecta y transformación de la materia prima.

**Cuadro 1.** Requerimientos para la elaboración de biocarbón.

Requerimiento	Establecimiento*	Mantenimiento*
Mano de obra	2	1
Inversión o capital	2	1
Infraestructura	1	1
Maquinaria	1-2	1
Insumos biológicos	2-3	1

\*Nivel de costo: 1=bajo, 2=medio, 3=alto

## ¿QUÉ OTROS BENEFICIOS Y COBENEFICIOS APORTA ESTA PRÁCTICA?

### Beneficios esperados en la producción agrícola y/o pecuaria

Los efectos benéficos del biocarbón fueron descubiertos durante exploraciones arqueológicas en la Amazonía Boliviana que revelaron “islas de fertilidad” en formas de suelo llamadas “Terra Preta”. Las investigaciones revelaron que estos suelos fueron enriquecidos con carbón hace cientos de años por acción humana (BBC s.f.). Hasta el día de hoy, estos suelos mantienen mayores niveles de carbono y una fertilidad elevada, demostrando que el efecto es sumamente duradero. El biocarbón contribuye a: (1) mejorar las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, (2) mantener o aumentar la fertilidad del suelo al mejorar su capacidad para retener nutrientes y agua y (3) secuestrar carbono a un plazo de cientos de años. Estos efectos se traducen en un incremento de la productividad a mediano y largo plazo y estabilidad de los sistemas agrícolas (Escalante-Rebolledo et al. 2016; Lehmann y Joseph 2009).

El biocarbón se ha identificado como una herramienta para luchar contra el cambio climático y mejorar al mismo tiempo la fertilidad del suelo, permitiendo a pequeños agricultores aumentar el rendimiento de sus cultivos en tierras anteriormente degradadas. Los sistemas de biocarbón son especialmente importantes para los países en desarrollo, y se podrían aprovechar para hacer frente a problemas de alcance mundial relacionados con la producción de alimentos y el cambio climático (Scholz et al., 2014).

El biocarbón genera una serie de cobeneficios derivados de su capacidad de mejorar la fertilidad de los suelos y de aumentar la retención de carbono (Cuadro 2). Además, el biocarbón puede reducir las emisiones de GEI, incluyendo óxido nitroso y metano (Lehmann y Joseph, 2009), al mismo tiempo que puede contribuir a tratar residuos orgánicos que a menudo causan problemas de contaminación ambiental (Escalante-Rebolledo et al. 2016).

## Cuadro 2. Cobeneficios esperados con el uso del Biocarbón.

Socioeconómicos	Nivel o grado*	Ambientales	Nivel o grado*
Diversificación de la producción	3	Conservación de agua	2
Estabilidad en la producción	2-3	Conservación de Biodiversidad	1
Empleo	1	Conservación de suelo	3
Seguridad alimentaria	3	Reducción de GEI	2
Ingreso	2	Captura de Carbono	2

\*Nivel de beneficios: 1=bajo, 2=medio, 3=alto.

## CASOS DE ÉXITO

Muchos casos de éxito han sido documentados en suelos pobres del Amazonas cuya fertilidad ha sido aumentada significativamente al agregar biocarbón hace cientos de años (BBC s.f.). El hecho que estos beneficios se notan aún hoy en día ilustra el carácter duradero de la aplicación de biocarbón. Otros casos de beneficios en ambientes tropicales han sido recopilados por Lehmann y Joseph (2009) y Scholz et al. (2014).

En Costa Rica, el uso de biocarbón es una práctica utilizada por muchos agricultores orgánicos y agroecológicos, quienes lo utilizan tanto como ingrediente para la elaboración de compostas especiales como el Bocashi o como un producto que se incorpora al suelo directamente (Figura 3). Las investigaciones de Henreaux (2012) han demostrado beneficios marcados para tomate y pepino sembrados en suelos con enmiendas de biocarbón y microorganismos benéficos (Figura 2).



**Figura 2. Izquierda:** Aplicación de biocarbón para mejorar la capacidad de retención de nutrientes y agua en camas de vegetales en la Finca Loroco, Talamanca, Costa Rica. En ambientes muy húmedos es de suma importancia de minimizar la pérdida de nutrientes por lixiviación (Foto cortesía de R Muschler, CATIE). Centro y derecha: la presencia de biocarbón puede aumentar la capacidad de retención de agua de manera drástica (Fotos: J Henreaux).

## RETOS Y LIMITANTES

Estos resultados indican que existe un gran potencial para el uso del biocarbón con miras a la mejora de la fertilidad de suelos, para restaurar suelos degradados, y para aumentar la cantidad de carbono con el fin de mitigar el cambio climático. Sin embargo, existen interacciones complejas entre el tipo de biocarbón, las características de un suelo y de otras enmiendas, el clima y de los microorganismos presentes que determinan el éxito en el uso de biocarbón; por ende, queda por investigar cuales son las condiciones óptimas que permiten generar los mayores beneficios derivados de la aplicación de biocarbón (Scholz et al. 2014). También hay que considerar que los efectos de la aplicación de biocarbón pueden requerir de uno a varios años para manifestarse de manera sistemática.

Finalmente, la factibilidad de producir biocarbón depende de la disponibilidad de biomasa como materia prima proveniente de actividades forestales, agroforestales o agrícolas que pueden ser aprovechados para la pirolisis sin causar conflictos con otros usos. También hay un potencial sustancial de aprovechar residuos orgánicos generados en centros urbanos que pueden ser usados como materia prima. La organización internacional “Biochar International<sup>37</sup>” provee mucha información sobre la elaboración y uso de biocarbón para mejorar la fertilidad de suelos y aumentar la retención de carbón en ellos.

## REFERENCIAS

BBC s.f. Biochar. Soil improvement using biochar: attributes and potential (BBC Documentary on the discovery of biochar in the Amazon basin: [https://www.youtube.com/watch?v=qqp\\_H95wjPE](https://www.youtube.com/watch?v=qqp_H95wjPE) , 49 min, English).

Escalante-Rebolledo A, Pérez-López G, Hidalgo-Moreno C, López-Collado J, Campo-Alves J, Valtierra-Pacheco E, y Etchevers-Barra JD. 2016. Biocarbón (biochar) I: Naturaleza, historia, fabricación y uso en el suelo. *Terra Latinoamericana* 34: 367-382. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57346617009>.

Fenton M, Albers C, Ketterings Q 2008. Soil organic matter, Cornell University Cooperative Extension Service Factsheet No. 41. Cornell University, Ithaca, NY, USA. <http://franklin.cce.cornell.edu/resources/soil-organic-matter-fact-sheet>.

Henreaux J 2012. Efecto del biocarbón combinado con fertilizantes orgánicos y microorganismos benéficos sobre el desarrollo, productividad y resistencia de plantas. Tesis M.Sc. CATIE, Turrialba, Costa Rica. 99 p.

Lehmann J, Joseph S (eds.) 2009. *Biochar for Environmental Management. Science and Technology*. Earthscan Pub. Sterling, Virginia, USA. 435 p.

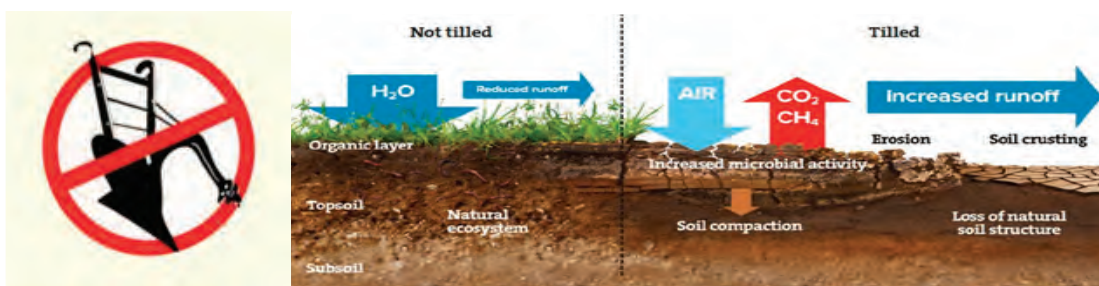
Scholz SM, Sembres T, Roberts K, Whitman T, Wilson K, Lehmann J 2014. *Biochar Systems for Smallholders in Developing Countries: Leveraging Current Knowledge and Exploring Future Potential for Climate-Smart Agriculture. A World Bank Study*. Washington, DC: The World Bank. License: CC BY 3.0 IGO. <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/18781>.

---

37. <http://www.biochar-international.org/>



## FICHA TÉCNICA: LABRANZA DE CONSERVACIÓN Y LABRANZA CERO<sup>38</sup>



### ¿QUÉ ES LA LABRANZA DE CONSERVACIÓN Y SIEMBRA DIRECTA/LABRANZA CERO?

Labranza de conservación se refiere a una gama de prácticas de la agricultura de conservación dirigidas a mantener la fertilidad y estructura del suelo al minimizar intervenciones físicas como el arado o la inversión de horizontes. La labranza de conservación incluye a la labranza mínima y a la “labranza cero”, también llamada “siembra directa”, la cual evita toda modificación física del suelo.

### ¿CUÁLES SON LOS BENEFICIOS?



### ¿CUÁLES ZONAS AGROECOLÓGICAS Y AGROECOSISTEMAS TIENEN MAYOR POTENCIAL DE APLICACIÓN?

En el 2010, el sistema de siembra directa/labranza cero, la forma más conservadora de agricultura/labranza de conservación (Agrilife 2009), fue practicada en más de 110 millones de ha alrededor del mundo, con mayor adopción en América del Sur. En los últimos años se ha incrementado la adopción de este sistema (Jat et al. 2014). Las prácticas de la labranza de conservación son muy flexibles y se pueden adaptar a una gama amplia de suelos, cultivos y climas, desde climas fríos a climas tropicales y con precipitaciones anuales desde 250 hasta más de 2,500 mm (Derpsch et al., 2010). Por sus aportes de materia orgánica y por la protección de los suelos, la labranza de conservación se recomienda particularmente en suelos con limitantes de agua o materia orgánica y en suelos con alto riesgo de erosión hídrica y/o eólica. Por ende, el uso de esta práctica es particularmente importante en terrenos inclinados y sujetos a lluvias fuertes. Sin embargo, en terrenos planos también se generan beneficios por la acumulación de materia orgánica en el suelo, lo cual contribuye a aumentar la capacidad del suelo para retener agua y nutrientes. Idealmente, la siembra directa en suelos no arados genera sus mejores resultados en policultivos o en sistemas de rotación de cultivos, sobre todo cuando se integran abonos verdes y coberturas vivas o muertas para enriquecer y alimentar los suelos (CONAF 2009).

## ¿CÓMO CONTRIBUYE A REDUCIR LA VULNERABILIDAD AL CAMBIO CLIMÁTICO?

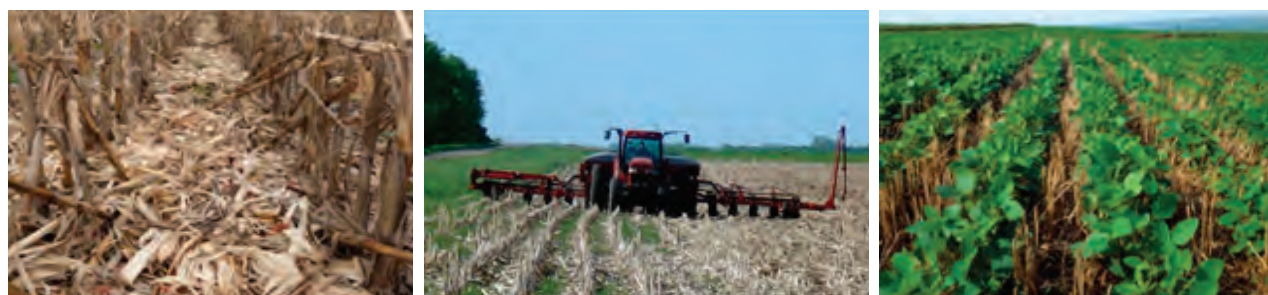
La labranza de conservación, en contraste con el arado sistemático que destruye la estructura del suelo y lo expone a la erosión y pérdida de materia orgánica, ayuda a almacenar o retener más carbono en el suelo, mejorando sus propiedades físicas, químicas y biológicas (ver Figura arriba). La conservación de la estructura del suelo y el fomento de la actividad de los organismos activos en él como son los fijadores de nitrógeno, micorrizas, lombrices etc., aumentan la cantidad de carbono orgánico almacenado en el suelo e incrementan la infiltración y retención de agua, así como su capacidad para retener nutrientes en formas fácilmente aprovechables por los cultivos. Estos beneficios reducen la vulnerabilidad de los suelos a la erosión y la pérdida de fertilidad y, al mismo tiempo, aumentan la disponibilidad de aguas y nutrientes para los cultivos aún bajo condiciones climáticas extremas, como las que se vienen presentando con mayor frecuencia como resultado del cambio climático.

## ¿CÓMO FUNCIONA?

Los tres principios centrales de la agricultura y labranza de conservación son: (1) minimizar las

modificaciones de la estructura del suelo con el fin de mantener los horizontes y propiedades del suelo y no afectar a los organismos presentes en él; (2) maximizar la cobertura del suelo a través de un manejo adecuado de los cultivos, pasturas y residuos de cosecha; y (3) estimular la actividad biológica en el agroecosistema al emplear rotaciones de cultivos, coberturas vivas o muertas, así como el manejo integrado de nutrientes, plagas y enfermedades (FAO 2013, 2011; Jat et al. 2014). Para conservar el agua de lluvia en el suelo, los residuos de cosecha se dejan para cubrir la mayor superficie del suelo posible (Fig. 1) y protegerlo del golpeteo directo de las gotas de lluvia y de la radiación solar que acelera los procesos de evaporación y degradación de la materia orgánica.

En las grandes plantaciones, con el fin de lograr los objetivos la labranza mínima y la siembra directa/labranza cero, se emplea maquinaria que en uno o pocos pasos puede aplastar o acomodar los rastrojos de un cultivo anterior, abrir un surco o huecos de siembra para depositar las semillas y cerrar los puntos de siembra (Fig. 1).



**Figura 1.** Tres etapas en el ciclo de la labranza de conservación: (a) Mantener el suelo cubierto es una práctica clave para la labranza de conservación (izq.); (b) En plantaciones grandes la siembra directa típicamente se realiza con una maquina equipada para colocar las semillas en surcos pequeños o en puntos individuales de siembra (centro); (c) Un campo de soya cultivada sobre rastrojo sin arar (Fuentes: Internet Commons e IEASSA).

La adopción de este modelo ha sido muy amplia en la siembra de cultivos transgénicos resistentes al herbicida glifosato, ya que las malezas se pueden controlar fácilmente en este sistema; sin embargo, existen muchas preocupaciones por el uso desmedido de este herbicida y por los riesgos del uso de los transgénicos (Fagan et al., 2014). Consecuentemente, el manejo de las malezas representa posiblemente el mayor reto para el desarrollo futuro de la práctica de siembra directa, sin depender tanto del uso de agroquímicos problemáticos.

### ¿CÓMO SE ESTABLECE?

**Labores previas:** En la labranza de conservación se minimizan las labores de arado de suelo. Solamente en casos excepcionales, cuando el terreno esté sumamente compactado en la capa arable (0-25 cm), puede ser necesario realizar un arado inicial de cincales que rompa los endurecimientos y que homogenice el micro-relieve, para permitir que la lluvia se infiltre en el suelo en vez de escurrirse superficialmente. Si la compactación es más profunda, puede ser necesario el uso de un subsolador; típicamente estas labores se necesitan realizar una sola vez, para que el suelo alcance las condiciones óptimas para la siembra directa. En zonas secas con necesidad de riego también se deben establecer o mantener los surcos para la conducción del agua de riego por gravedad (Novelo, 2000).

**Preparación para la siembra:** Para que se aprovechen adecuadamente los rastrojos de la temporada anterior y no interfieran con la siembra, estos deben ser picados y distribuidos en el terreno. Para su aplicación en grandes extensiones se necesita una picadora y esparcidores para favorecer su

distribución y descomposición. La cantidad, naturaleza y distribución de los residuos determinan el porcentaje de cobertura, el espesor y la homogeneidad del mantillo. Dependiendo de estos factores puede ser mejor de realizar la siembra antes o después de cortar y picar los residuos. Así, en zonas de alta precipitación puede ser mejor no picar los residuos para evitar problemas de acolchonamiento y humedad excesiva; en cambio en zonas con fuertes vientos puede ser más recomendable solo doblar los residuos de cosecha para evitar su arrastre. En los otros casos, el rastrojo comúnmente se corta en trozos de 10 a 15 cm de largo y se deja sobre la superficie del suelo. Si la cantidad de residuos es muy grande, es mejor picar en trozos más pequeños, con el fin de disminuir el volumen y facilitar la siembra. Por otro lado, antes de la siembra, se deben controlar las malezas de manera mecánica o utilizando herbicidas para reducir la competencia con el cultivo que se va a sembrar.

**Siembra:** La presencia de los rastrojos obliga a utilizar sembradoras especiales de precisión, las cuales deben estar equipadas para cortar, picar y/o aplastar los rastrojos y colocar la semilla de forma adecuada en el suelo para favorecer su germinación (Tapia, 2014; Fig. 1). En terrenos inclinados, los cultivos deben ser sembrados en curvas de nivel, y los rastrojos se acomodan de acuerdo con las curvas. Cuando no se dispone de sembradoras especializadas para la labranza de conservación, esta tarea se puede realizar con una sembradora convencional modificada y siguiendo las acciones de rutina como la escarda convencional para controlar las malezas durante los primeros 45 días (Escobedo, 2010). Para terrenos pequeños, áreas con pendiente pronunciada y huertos caseros, la siembra se hace a mano, usando equipo manual y el espeque para colocar las semillas.

## ¿CUÁLES SON LOS REQUERIMIENTOS PARA SU IMPLEMENTACIÓN?

La siembra directa/labranza cero generalmente tiene bajos requerimientos, excepto en los casos de siembras en grandes áreas, las que van a requerir del uso de maquinaria pesada y especializada (Cuadro 1).

**Cuadro 1.** Requerimientos para el manejo de labranza conservacionista y labranza cero.

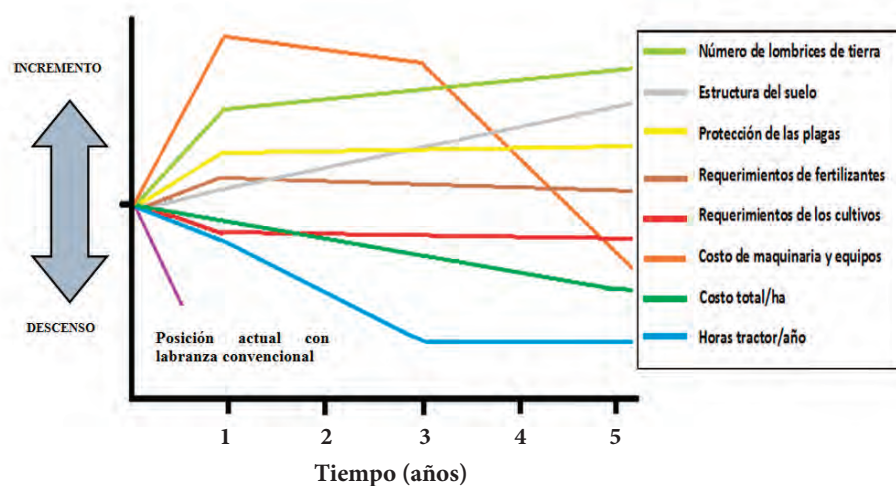
Requerimiento	Establecimiento*	Mantenimiento*
Mano de obra	2	1-2
Inversión o capital	1-2	1-2
Infraestructura	N/a	N/a
Maquinaria	1-3	1-2
Insumos biológicos	1	1

\*Nivel de costo: 1=bajo, 2=medio, 3=alto, N/a=no aplica

## ¿QUÉ OTROS BENEFICIOS Y COBENEFICIOS APORTA ESTA PRÁCTICA?

### Beneficios esperados en la producción agrícola y/o pecuaria

La labranza de conservación mejora la producción agrícola mediante el mantenimiento o aumento de la fertilidad de los suelos, al mismo tiempo que fomenta la conservación del agua y de los recursos biológicos. La cobertura permanente protege el suelo del sol, la lluvia y del viento, y beneficia a la actividad biológica en el suelo mientras que el arado mecánico la perjudica. De hecho, la siembra directa/labranza cero puede reducir la erosión a tasas menores que la de formación de suelos. Por ende, es una estrategia importante para el manejo sostenible de suelos (Derpsch et al. 2010). La Fig. 2 ilustra cambios de varios parámetros a lo largo de 5 años después de la adopción de labranza cero.



**Figura 2** Cambios esperados en parámetros biológicos y económicos como resultado del paso de la labranza convencional a la labranza cero (Fuente: Carter, 1994).

Otros beneficios son una mayor flexibilidad en la definición del momento de la siembra, pues no hay que esperar condiciones apropiadas para usar el arado, así como rendimientos iguales o más altos que en los sistemas convencionales (Derpsch et al. 2010). Comparado con sistemas convencionales que requieren de 5 o 6 pasos de maquinaria para preparar el terreno y sembrar, el menor uso de maquinaria en sistemas de siembra directa genera ahorros sustanciales de combustible y un menor desgaste de los tractores y equipos. De esta manera se reducen los costos de producción y se incrementa la productividad comparado con el sistema de labranza convencional (IEASSA 2017).

En los principales beneficios de la adopción de la labranza de conservación son la protección de suelos, agua y biodiversidad (del suelo), así como una mayor estabilidad en la producción y los ingresos al tratarse de un sistema de producción más sostenible. Adicionalmente, hay una mayor retención de carbono en el suelo y una menor emisión de GEI por la reducción del uso de fertilizantes y herbicidas (Cuadro 2).

**Cuadro 2.** Cobeneficios esperados con la implementación labranza conservacionista y labranza cero.

Socioeconómicos	Nivel o grado*	Ambientales	Nivel o grado*
Diversificación de la producción	3	Conservación de agua	2
Estabilidad en la producción	2-3	Conservación de Biodiversidad	1
Empleo	1	Conservación de suelo	3
Seguridad alimentaria	3	Reducción de GEI	2
Ingreso	2	Captura de Carbono	2

\*Nivel de beneficios: \*1=bajo, 2=medio, 3=alto, NA

## CASOS DE ÉXITO

El primer ejemplo viene de México donde la adopción de labranza de conservación permitió reducir la escorrentía superficial de agua de más de un millón de l/ha en el sistema convencional a menos de 150 l/ha y la erosión del suelo de más de 13 ton/ha a solamente 683 kg/ha con labranza de conservación. Al mismo tiempo la producción de frijol aumentó de 900 kg/ha con labranza tradicional a más de 2,250 kg/ha en labranza de conservación. Esta experiencia también mostró que la labranza de conservación permitió reducir el riesgo de pérdida de la cosecha y los costos de producción en frijol y maíz (Escobedo, 2010).

El segundo ejemplo viene de Brasil y muestra que los beneficios económicos de la siembra directa se pueden generar en fincas de casi todos los tipos y tamaños. El ahorro en mano de obra para los pequeños agricultores que utilizan tracción animal o métodos manuales es especialmente significativo. Los datos de Río Grande del Sur muestran una reducción de 68% en las horas-hombre/ha como el factor más importante a favor de la adopción de la labranza cero. Aunque, en años con precipitaciones normales, los rendimientos y costos de producción fueron similares para agricultores de labranza cero versus labranza convencional, la labranza cero mostró un mayor

rendimiento en años con periodos secos más fuertes y con condiciones difíciles para la siembra, porque esta técnica permite una siembra más temprana (Landers et al. 1994).

En Paraguay se demostró que la adopción de los sistemas de labranza cero no fue solo financieramente atractiva para los pequeños agricultores, sino también para todo el país, con un beneficio estimado de 941 millones de dólares en el año 1997. En la estimación de esos beneficios se incluyó el ahorro en nutrientes que no se perdieron por la erosión del suelo, más aquellos asociados a la reducción de las horas de trabajo de los tractores, los combustibles y fertilizantes (Sorrenson et al. 1997).

## RETOS Y LIMITANTES

Los limitantes principales de la siembra directa/labranza cero incluyen los siguientes aspectos (IEASSA 2017):

- Se requiere equipo especializado, aunque existen opciones alternativas de sembradoras convencionales modificadas y equipo para el trabajo manual;
- El sistema depende del uso frecuente de herbicidas y aplicaciones dirigidas. Con conciencia creciente sobre el impacto negativo de herbicidas sobre agroecosistemas surge el reto de desarrollar opciones agroecológicas para controlar malezas;
- A veces puede ser difícil de cubrir la semilla bien;
- La aplicación dirigida de herbicidas y fertilizantes puede ser difícil cuando no hay líneas de siembra fácilmente visibles;

## REFERENCIAS

Agrilife 2009. Agricultura de conservación. ¿En qué consiste y cuál es su utilidad? Ficha informativa n.º 5. Sistemas y prácticas agronómicas no perjudiciales para el suelo. <http://agrilife.jrc.ec.europa.eu/documents/ESFactSheet-05.pdf>

CONAF 2009. Ficha técnica #9: Cero labranza. Corporación Nacional Forestal, Chile. [http://www.alternativasquemas.cl/fileadmin/ArchivosPortal/Alternativas/CERO\\_LABRANZA/ficha9.pdf](http://www.alternativasquemas.cl/fileadmin/ArchivosPortal/Alternativas/CERO_LABRANZA/ficha9.pdf)

Derpsch, R., Franzluebbbers, A.J., Duikers, S.W., Reicosky, D.C., Koeller, K., Friedrich, T., Sturny, W.G., Sa, J.C.M., Weiss, K. 2014. Why do we need to standardize no-tillage research? *Soil & Tillage Research* 137:16-22

Derpsch, R., Friedrich, T., Kassam, A., Li, H.W. 2010. Current status of adoption of no-till farming in the world and some of its main benefits. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering* 3:1-25

Escobedo J., 2010. Labranza mínima en maíz y frijol en Zacatecas. Fichas tecnológicas sistema producto. INIFAP/SAGARPA. México. <http://utep.inifap.gob.mx/tecnologias/11.%20Agr%C3%ADcolas/LABRANZA%20M%C3%8DNIMA%20EN%20MA%C3%8DZ%20Y%20FRIJOL,%20EN%20ZACATECAS.pdf>

Fagan, J., Antoniou, M., Robinson, C. 2014. GMO Myths and Truths - An evidence-based examination of the claims made for the safety and efficacy of genetically modified crops. 2nd ed. Earth Open Source, UK. 331 pag. Disponible en línea : <http://earthopensource.org/earth-open-source-reports/gmo-myths-and-truths-2nd-edition/>

FAO, 2013. Basic Principles of Conservation Agriculture. <http://www.fao.org/ag/ca/1a.html>

FAO (2011). Enfoque: Labranza cero, cuando menos, es más. <http://www.fao.org/ag/esp/revista/0101sp1.htm>

IEASSA 2017. International Efficient Agriculture Solutions and Standards Association. En línea: <http://ieassa.org/en/no-till/>

Jat, R.A., Sahrawat, K.L., Kassam, A.H. 2014. Conservation agriculture: global prospects and challenges. CABI, Wallingford, U.K. 424 p.

Landers, J. N, 2004. Desarrollo de la siembra directa en el Brasil tropical: la historia de las actividades exitosas de una ONG. <http://www.fao.org/docrep/007/y2638s/y2638s00.htm#Contents>

Novelo, M., 2000. La Labranza de Conservación. México. Morelia, Mich. <http://agecon.okstate.edu/isct/labranza/guizar/novelo.doc>

Sorrenson, W.J., López Portillo, J., Núñez, M. 1997. Economics of no-tillage and crop rotations - policy and investment implications, FAO Report N° 97/075/ ISP-PAR, 1 October 1997.

Tapia, A. 2014. Las claves para establecer la cero labranza en el campo <http://www.elmercurio.com/Campo/Noticias/Redes/2014/01/29/Las-claves-para-desarrollar-la-cero-labranza-en-el-campo.aspx>

## FICHA TÉCNICA: LABRANZA DE CONSERVACIÓN Y LABRANZA CERO<sup>38</sup>



### ¿QUÉ SON LAS TERRAZAS?

Las terrazas son los terraplenes formados por bordos de tierra, o la combinación de bordos y canales, contruidos en sentido perpendicular a la pendiente del terreno. La finalidad de las terrazas es acondicionar los terrenos para labores agrícolas, prevenir o al menos reducir la erosión del suelo e incrementar la infiltración de agua para que terrenos con pendientes pronunciadas puedan ser utilizados para la producción de cultivos. Además, estas deben contribuir en la reducción del volumen de escurrimiento que llega a las construcciones agua abajo y el contenido de sedimentos en las aguas de escorrentía superficial. En áreas en terrazas se puede mantener una variedad de cultivos tales como arroz, papa, maíz, etc. (Gonzales de Olarte y Trivelli, 2004).

### ¿CUÁLES SON LOS BENEFICIOS?



### ¿EN CUÁLES ZONAS AGROECOLÓGICAS Y AGROECOSISTEMAS TIENEN MAYOR POTENCIAL DE APLICACIÓN?

Las terrazas se adaptan a condiciones variadas de clima, lo que difiere es el tipo de sistema a utilizar. El sistema de terrazas debe usarse en combinación con otras prácticas, tales como: surcado en contorno, cultivos en fajas, rotación de cultivos y el manejo de acuerdo con la capacidad de uso del terreno. Se utilizan en suelos profundos, idealmente de más de 1 metro de profundidad, sin embargo, existen experiencias campesinas en suelos superficiales de concentrar la tierra en terrazas y mezclarla con abonos orgánicos para hacer estos suelos productivos. En caso de que se necesite preparar terrazas en suelos arenosos, estas deben ser más pequeñas. En suelos de baja infiltración se combina la construcción de terrazas con prácticas que mejoran la infiltración y se asegure el desagüe a través de una pendiente del 1% a desnivel. Se utiliza sobre todo en pendientes moderadas y fuertes de 12-40%. El uso de esta práctica se recomienda en zonas con una precipitación > 800 mm (Martínez et al., 1999)

38. Fotos de Izquierda a Derecha. 1. Cultivo de aloe vera en terrazas, pendiente del 90%, 12,000 plantas en la ciudad de Ibagué, Colombia. 2. Cultivos mixtos, En Sabana Grande, departamento Francisco Morazán, Honduras. 3. Terrazas de arroz de los Ifugao en Banaue, Filipinas, conocidas como 'Escalera al cielo'



## ¿CÓMO CONTRIBUYE A REDUCIR LA VULNERABILIDAD AL CAMBIO CLIMÁTICO?

Las terrazas se construyen para reducir la erosión del suelo hasta la tasa de erosión máxima permisible o para recuperar terrenos fuertemente erosionados, y de esa manera se ayuda en la mitigación por deforestación evitada, además, en los suelos protegidos por las terrazas puede haber un mejor desarrollo radicular y en consecuencia mayor almacenamiento de carbono y reduciendo las emisiones de GEI a la atmósfera. Por el contrario, si los suelos se manejan mal o se cultivan mediante prácticas agrícolas no sostenibles, el carbono del suelo puede liberarse a la atmósfera en forma de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), contribuyendo al cambio climático. Por otro lado, la restauración de suelos degradados y la adopción de prácticas de conservación como la construcción de terrazas ayudan a hacer un mejor uso del recurso hídrico y de esa manera contribuye a aumentar la resiliencia ante el cambio climático (FAO, 2015).

También las terrazas se constituyen en un método de regulación del microclima para la producción agrícola, pues la captura de calor del sol en las paredes de piedra durante el día y lo liberan durante la noche, hace que se presenten en las terrazas condiciones ligeramente más templadas que pueden ayudar a proteger los cultivos de las heladas, prolongar la estación de crecimiento y permitir la diversificación de cultivos (Clement, 2013).

## ¿CÓMO SE ESTABLECEN?

**Implementación:** Para la construcción de las terrazas hay que nivelar el suelo en la franja cubierta por cada una de ellas, lo cual se puede hacer con un nivelador de arrastre, una motoniveladora o con una herramienta que se denomina “Terraceador”, semejante a las conocidas taiperas arroceras, pero de mucho mayor tamaño. Con el nivel A se trazan las curvas a nivel con un 1% de desnivel en zonas húmedas y suelos mal drenados. Paralelamente con las curvas a nivel se marcan los límites de la terraza a la distancia que corresponde a la mitad del ancho total hacia arriba y abajo de la curva a nivel. En suelos pobres se debe excavar primero la capa fértil superior del suelo, colocándola a un lado, para luego depositarla nuevamente sobre la plataforma. Las terrazas se pueden reforzar con barreras vivas o muertas. Se debe tener en cuenta que, si se destinan a plantaciones forestales, el ancho será entre 0,5 y 1 m. En cambio, si es para cultivo, el ancho varía según el tipo de suelo; así, para un suelo superficial el ancho de la terraza será de 2,5 a 6 m, en cambio si el suelo es más profundo y fácil de trabajar, el ancho podrá ser hasta los 12 m (Pizarro y Bravo, 2013).

**Mantenimiento:** La terraza se puede proteger en el borde inferior con una barrera viva y los taludes se protegen con pastos o cualquier otra hierba perenne y densa. Anualmente se debe revisar la terraza para mantener la inclinación. En zonas húmedas, es indispensable un drenaje libre en las terrazas (desnivel a lo largo) y la organización del sistema de desagüe (Pizarro y Bravo 2013).

**Tipos de terrazas:** Las terrazas se pueden clasificar en función de las características pluviales y de suelo de cada región, reconociéndose dos tipos: con declive o de drenaje y las de nivel (Figura 1). Las primeras se utilizan en áreas donde la precipitación anual es mayor de 800 mm o las características de permeabilidad y profundidad de los suelos propician la acumulación excesiva de agua, la que es necesario desalojar hacia una salida natural o artificial debidamente protegida (Figura 1). Las terrazas a nivel generalmente se recomiendan en áreas con precipitaciones menores de 800 mm anuales, o donde los suelos son profundos, con buena permeabilidad y capaces de retener toda el agua de lluvia (SAGARPA, 2005).



**Figura 1.** a. Terrazas a declive que muestra el desagüe hacia un cauce empastado. b. Terrazas a Nivel.

Existen cinco tipos de secciones transversales de las terrazas, las cuales están formadas de un bordo y de un canal. La sección consta de tres pendientes laterales conocidas como: pendiente de corte, pendiente frontal y contrapendiente que pueden adaptarse a las diferentes condiciones topográficas y ecológicas del lugar (Figura 2). En función de su sección transversal las terrazas pueden ser (SAGARPA, 2005):

- 1. Terrazas de base ancha.** Son secciones transversales amplias que se construyen de manera que se permite laborear toda la sección transversal. Las pendientes del bordo y el canal se proyectan para permitir el paso de la maquinaria de acuerdo con el ancho de la misma.
- 2. Terrazas de banco o bancales.** Estas terrazas se construyen para formar bancos o escalones amplios. El bordo tiene el talud aguas abajo y debe ser protegido con vegetación permanente. Este tipo de terrazas aprovecha eficientemente el agua de lluvia o de riego y facilita el laboreo.
- 3. Terrazas de bancos alternos.** Este sistema está constituido por una serie de bancales construidos en forma alterna con fajas de terreno de cultivo o natural donde no se realiza ningún movimiento de tierra. El sistema se diseña para mejorar las condiciones del terreno para las labores agrícolas.
- 4. Terrazas de base angosta o de formación sucesiva.** Las secciones transversales están formadas por un pequeño bordo y un canal a nivel o con pendientes. El bordo de la terraza no se siembra, pero debe protegerse con vegetación permanente.
- 5. Terrazas de canal amplio o de Zingg.** Este sistema de terrazas se forma por un área de siembra y otra de captación. El área de siembra está conformada por un canal amplio a nivel construido en la parte baja del área de captación. Esta terraza se recomienda para las zonas áridas donde se deja un área de siembra y otra de escurrimiento. El ancho del canal varía dependiendo de la pendiente del terreno, la profundidad permisible de corte, el ancho de la maquinaria, el tipo de cultivo y la precipitación pluvial de la zona

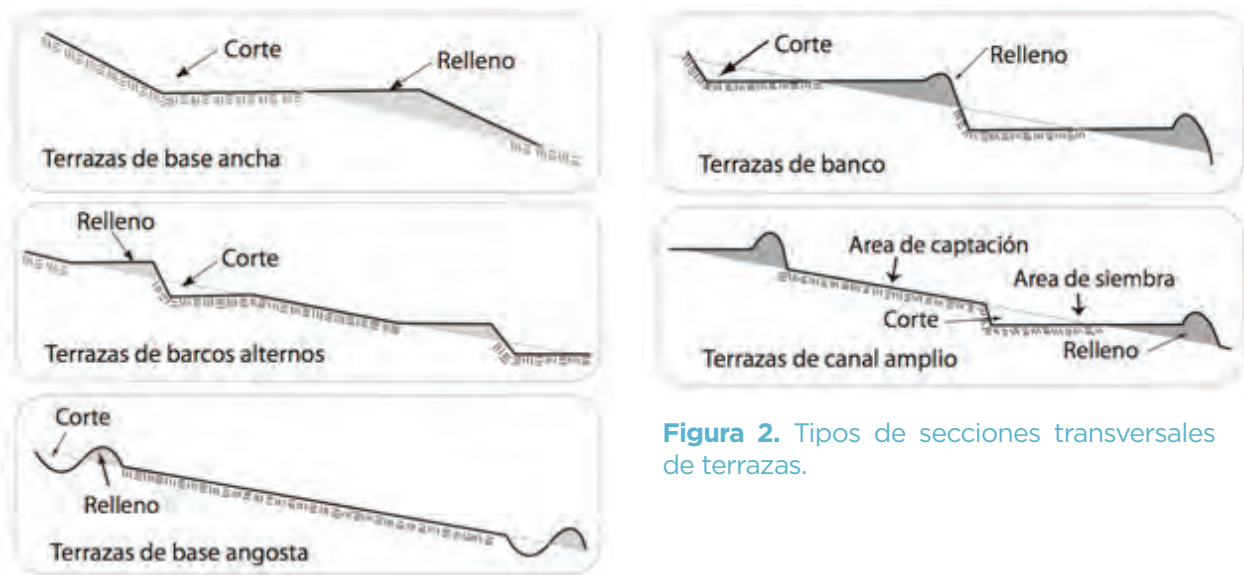


Figura 2. Tipos de secciones transversales de terrazas.

## ¿CUÁLES SON LOS REQUERIMIENTOS PARA SU IMPLEMENTACIÓN?

Los requerimientos son variados (Cuadro 1) en función del tipo de materiales que el productor disponga o pueda adquirir para su establecimiento (p.e., madera, bambú, piedra, entre otros).

Cuadro 1. Requerimientos para la implementación de Terrazas.

Requerimiento	Establecimiento*	Mantenimiento*
Mano de obra	2-3	1
Inversión o capital	1-3	1
Infraestructura	2-3	1
Maquinaria	1-3	1
Insumos biológicos	1	1

\*Nivel de costo: 1=bajo, 2=medio, 3=alto.

## ¿QUÉ OTROS BENEFICIOS Y COBENEFICIOS APORTA ESTA PRÁCTICA?

### Beneficios esperados en la producción agrícola y/o pecuaria

Las terrazas son un método eficaz para el control de la erosión hídrica. Además, al reducir la velocidad del agua, mejora la infiltración y contribuye al aumento del agua disponible en el perfil del suelo. Las terrazas de formación lenta permiten desarrollar áreas más grandes de suelo cultivable en terrenos escabrosos y pueden facilitar las técnicas modernas de cosecha como la mecanización, riego y transporte en suelos de pendiente. Estas aumentan el contenido de humedad de la tierra reteniendo una mayor cantidad de agua y capturan la escorrentía que puede desviarse a través de los cauces de riego a una velocidad controlada para prevenir la erosión del suelo. Asimismo,

incrementan la exposición de la tierra al sol y reponen el suelo manteniendo la fertilidad a medida que los sedimentos son depositados en cada nivel, aumentando el volumen de materia orgánica y conservando la biodiversidad (Clement, 2013; Cuadro 2)

**Cuadro 2.** Cobeneficios esperados con la implementación de las terrazas.

Socioeconómicos	Nivel o grado*	Ambientales	Nivel o grado*
Diversificación de la producción	2-3	Conservación de agua	2
Estabilidad en la producción	2-3	Conservación de Biodiversidad	1
Empleo	2-3	Conservación de suelo	3
Seguridad alimentaria	3	Reducción de GEI	1-2
Ingreso	2	Captura de Carbono	1-2

\*Nivel de beneficios: 1=bajo, 2=medio, 3=alto.

## CASOS DE ÉXITO

En Sabana Grande, Departamento Francisco Morazán, Honduras, el grupo COSECHA (Asociación De Consejeros Para una Agricultura Sostenible, Ecológica y Humana) está realizando un trabajo de agricultura sostenible en siete municipios, con más de 1,500 agricultores. En el lugar se sufren sequías extremas y, a veces, exceso de lluvia por las tormentas tropicales. Las áreas de cultivo están ubicadas en laderas con baja fertilidad, pedregosas y resacas. Para lograr suelos saludables se utilizan técnicas sencillas de protección, conservación y mejoramiento de la fertilidad del suelo, como son las terrazas y las barreras de retención de suelos. Con el uso de estas innovaciones los huertos familiares han logrado incrementos importantes en los rendimientos de granos básicos y frutales (diferentes variedades de plátanos, cítricos, mango, guayabo, aguacate y otros). En el caso del maíz, a pesar de las sequías extremas de los últimos años, se ha logrado triplicar la producción de maíz pasando de 565 a 1,315 kg/ha, y la de frijol de 197 a 657 kg/ha (Vargas, 2015).

Por otro lado, en el municipio de San Juan Nepomuceno, departamento de Bolívar, Colombia, el Programa Paisajes de Conservación promovió la aplicación de medidas de conservación del suelo para prevenir y mitigar la erosión. Se implementaron técnicas como las terrazas, en donde se alternaron cultivos permanentes y semipermanentes para aprovechar al máximo los espacios y construir alternativas productivas para la conservación de suelos (Tapia, 2015).



**Figura 3.** Proceso de implementación de terrazas y cultivos de ciclo corto.

## REFERENCIAS

Clement, R. 2013. Tecnologías de Adaptación al Cambio Climático: Sector Agropecuario. Centro Riso de Energía, Clima y Desarrollo Sostenible del PNUMA de la Universidad Técnica de Dinamarca. 240 p

Gonzales de Olarte, E. y C. Trivelli. 2004. ¿Es la recuperación de andenes una vía sustentable para el desarrollo rural? En: Llerena, C. A., M. Inbar y M. A. Benavides (eds.) Conservación y Abandono de Andenes. Universidad Nacional Agraria La Molina, Universidad de Haifa. Lima, p 70-78. Disponible en línea: [http://www.iproga.org.pe/descarga/abandono\\_andenes.pdf](http://www.iproga.org.pe/descarga/abandono_andenes.pdf) Consultado octubre 2017

Martínez, M., Mario, r., Granados., Espinosa. 1999. Terrazas. México: SAGARPA, Colegio de Postgraduados. Manual de conservación del suelo y del agua. Montecillo, Estado de México. México. 11 p. <http://www.sagarpa.gob.mx/ desarrolloRural/Documents/fichasCOUSSA/13%20TERRAZAS.pdf> Consultado octubre 2017

FAO, 2016. Degradación de los suelos amenaza nutrición en América Latina. En Línea: <http://www.fao.org/agronoticias/agro-noticias/detalle/es/c/424463/>. Consultado septiembre 2017

FAO, 2015. Los suelos ayudan a combatir y adaptarse al cambio climático. Los suelos juegan un papel clave en el ciclo del carbono. Tomado de [http://www.fao.org/fileadmin/user\\_upload/soils2015/docs/Fact\\_sheets/Es\\_IYS\\_CICng\\_Print.pdf](http://www.fao.org/fileadmin/user_upload/soils2015/docs/Fact_sheets/Es_IYS_CICng_Print.pdf) Consultado Junio 12 2017.

Pizarro, R. T., & Bravo, C. C. 2003. Manual de conservación de aguas y suelos. SOCIEDAD EIAS, Talca, Chile. 8p. En Línea: [http://eias.utralca.cl/Docs/pdf/Publicaciones/manuales/g\\_instructivo\\_terrzas.pdf](http://eias.utralca.cl/Docs/pdf/Publicaciones/manuales/g_instructivo_terrzas.pdf) Consultado Octubre 2017

SAGARPA, 2005. Terrazas. Secretaría de agricultura, ganadería, desarrollo rural, pesca y alimentación. México. Disponible en: <http://www.sagarpa.gob.mx/desarrolloRural/Documents/fichasCOUSSA/13%20TERRAZAS.pdf>. Consultado septiembre 2017

Tapia, N. 2015. Alternativas productivas de ciclo corto para la conservación de los suelos. Programa Paisajes de Conservación - Colombia. Tomado de: <http://especialespatrimon.wixsite.com/paisajes-caribe/single-post/2015/07/29/REPORTES-DESDE-EL-CAMPO-Alternativas-productivas-de-ciclo-corto-para-la-conservaci%C3%B3n-de-los-suelos>. Consultado septiembre 2017

Vargas, G. 2015. Suelos saludables, alimentos confiables. LEISA Revista de Agroecología 31(1) Tomado de: <http://www.leisa-al.org/web/index.php/volumen-31-numero-1/1096-suelos-saludables-alimentos-confiables>. Consultado septiembre 2017.

## FICHA TÉCNICA: Barreras vivas<sup>39</sup>



### ¿QUÉ SON LAS BARRERAS VIVAS?

Las terrazas son los terraplenes formados por bordos de tierra, o la combinación de bordos y canales, contruidos en sentido perpendicular a la pendiente del terreno. La finalidad de las terrazas es acondicionar los terrenos para labores agrícolas, prevenir o al menos reducir la erosión del suelo e incrementar la infiltración de agua para que terrenos con pendientes pronunciadas puedan ser utilizados para la producción de cultivos. Además, estas deben contribuir en la reducción del volumen de escurrimiento que llega a las Las barreras vivas son cultivos -de preferencia perennes- que se siembran en curvas a nivel, en áreas de ladera, con el propósito de ayudar en el control de la erosión reduciendo la velocidad de movimiento del agua de escorrentía e incrementando la retención de los sedimentos que son arrastrados cuando se presentan lluvias de alta intensidad. La característica central de barreras vivas es que los cultivos que constituyen las barreras se siembran a alta densidad, con un distanciamiento corto entre plantas, para que actúen efectivamente como barreras para prevenir la erosión, así como la conservación del agua (Andrade y Rodríguez, 2002).

### ¿CUÁLES SON LOS BENEFICIOS?



### ¿EN CUÁLES ZONAS AGROECOLÓGICAS Y AGROECOSISTEMAS TIENEN MAYOR POTENCIAL DE APLICACIÓN?

Por su importancia para retener suelo, el uso de barreras vivas se recomienda como una práctica estándar para todas las tierras expuestas a erosión por agua o viento. Por ende, barreras vivas son de importancia particular en zonas montañosas y otras áreas inclinadas. Con respecto a cultivos, barreras vivas son esenciales para cultivos que exponen los suelos a la erosión por agua o viento durante su desarrollo o cosecha; lo posterior es el caso para raíces y tubérculos en laderas ya que su cosecha obliga a remover la tierra, lo cual puede precipitar una erosión muy grave cuando coincide con eventos de lluvia intensa.

39. Fotos de izquierda a derecha. 1. Barreras vivas en el cultivo de papaya en el sur de Sinaloa, México. 2. Barreras vivas de gramíneas para separar parcelas y conservar suelos. 3. Barreras vivas de pasto elefante (*Pennisetum purpureum*) en Nicaragua (Fuentes: <http://www.fps.org.mx/portal/index.php/notas/691-prevenga-infestacion-de-virus-en-papaya-con-barreras-vivas>, [http://photos.simas.org.ni/2011/06/288\\_1308756783\\_tierrez.jpg](http://photos.simas.org.ni/2011/06/288_1308756783_tierrez.jpg) <http://universidadagricola.com/la-conservacion-de-suelos-practicas-agronomicas-parte-i/>)

## ¿CÓMO CONTRIBUYE A REDUCIR LA VULNERABILIDAD AL CAMBIO CLIMÁTICO?

Las barreras vivas no solamente retienen y acumulan suelo fino a lo largo de las barreras sino, también, aumentan la retención del agua en una ladera porque interceptan y frenan el agua de escorrentía superficial. Sus raíces (hasta 3 m de profundidad en el caso del Vetiver) “trabajan” el suelo, incorporan carbono, mejoran su estructura y crean canales que aumentan la infiltración del agua. Como consecuencia, los suelos protegidos por barreras vivas tienen una mayor fertilidad y una mayor capacidad de retener agua y nutrientes, lo cual aumenta su resiliencia a eventos extremos debido al cambio climático.

## ¿CÓMO SE ESTABLECEN?

El ingrediente primordial para el establecimiento exitoso de barreras vivas es la selección de especies adaptadas al clima y suelo local y que tengan atributos deseables tales como la facilidad de enraizar y de reproducirse vegetativamente, que tengan un crecimiento rápido, buen anclaje radical, tolerancia a sequía y temperaturas extremas (incluyendo heladas en las zonas andinas), y que, en la medida posible, sean especies nativas (SAGARPA 2012). Desde Colombia, Ávila (2003) presenta un listado de especies utilizadas en muchos ambientes diferentes, incluyendo las siguientes:

- Pastos mejorados como *Brachiaria brizantha*, pasto elefante (*Pennisetum purpureum*) o King grass (*Saccharum sinense*).
- Plantas medicinales como zacate limón (*Cymbopogon citratus*), Valeriana o Vetiver (*Vetiveria zizanioides*).
- Plantas ornamentales como especies de Iris que forman rizomas;
- Plantas multipropósito como piña, piña de cerca (*Bromelia karata*), caña de azúcar, o guandul (*Cajanus cajan*).
- Leguminosas como *Leucaena leucocephala*, *Gliricidia sepium* y otros que pueden ser manejados como arbustos o árboles bajos como bancos forrajeros para animales.

Obviamente, esta lista no es exhaustiva, pero indica algunas de las especies más utilizadas que son de relevancia para América Latina y el Caribe.

Para el establecimiento de la barrera viva se recomienda sembrar las plantas densamente en líneas de contorno y fertilizarlas con un sustrato o una fórmula rica en fósforo para favorecer el desarrollo de las raíces y acelerar el crecimiento de la barrera viva. Las distancias de siembra, la preparación del suelo y los materiales para su establecimiento dependen de las especies y del tipo de barreras a establecer. Para hierbas o gramíneas, la siembra se puede realizar en chorrillo o utilizando materiales de trasplante sembrados a distancias de 5 a 15 cm según el tamaño de las plantas.

Idealmente, el uso de barreras vivas debería ser complementado por otras prácticas agronómicas de manejo y conservación de suelos como labranza cero, siembra en contorno, coberturas vivas, abonos verdes y la incorporación de materia orgánica (Cubero, 1999 y otras ‘Fichas técnicas’ sobre estos temas).

## ¿CUÁLES SON LOS REQUERIMIENTOS PARA SU IMPLEMENTACIÓN?

El establecimiento de barreras vivas requiere de inversiones bajas o intermedias, sobre todo en mano de obra e insumos biológicos, tal como lo muestra el cuadro 1.

**Cuadro 1.** Requerimientos para la implementación de Barreras vivas.

Requerimiento	Establecimiento*	Mantenimiento*
Mano de obra	2	1
Inversión o capital	1-2	1
Infraestructura	N/a	N/a
Maquinaria	1	1
Insumos biológicos	2	1-2

\*Nivel de costo: 1=bajo, 2=medio, 3=alto, N/a=no aplica

El mantenimiento de las barreras vivas es sencillo y, típicamente, tiene bajos requerimientos.

Para mantenerlas en su mejor forma se recomienda:

- Revisarlas regularmente para resembrar plantas muertas y mantener las barreras bien tupidas.
- Podar las plantas, sobre todo en el caso de las especies de pastos, para evitar que crezcan excesivamente y que compitan con el cultivo por nutrientes, agua o luz. Podas regulares estimulan el rebrote de hijos vigorosos, los cuales aumentan la capacidad de la barrera para retener suelos.

## ¿QUÉ OTROS BENEFICIOS Y COBENEFICIOS APORTA ESTA PRÁCTICA?

### Beneficios esperados en la producción agrícola y/o pecuaria

Las barreras vivas contribuyen a mantener o, bajo ciertas condiciones, hasta mejorar la fertilidad de los suelos para el beneficio de los cultivos. Los efectos más importantes son la retención y acumulación de suelo fino a lo largo de la barrera, el incremento de la materia orgánica y de la diversidad macro- y microbiológica en el suelo, una mayor infiltración de aguas de lluvia (Gaia Movement s.f.), así como los beneficios generados porque las plantas de la barrera pueden también servir como hospedantes para insectos y hongos benéficos o como proveedores de materia orgánica para diferentes usos y como forraje para animales (SAGARPA 2012). En el caso de barreras vivas con plantas forrajeras como Brachiarias, pasto elefante (*Pennisetum purpureum*) o caña de azúcar, los materiales cosechados se pueden usar como alimento para el ganado. Ejemplos de plantas usadas en barreras vivas de los cuales se puede obtener alimentos para la familia o las aves de corral son el gandul (*Cajanus cajan*), piña y sábila. En el caso que las barreras vivas incluyan árboles como leucaena (*L. leucocephala*), madero negro (*Gliricidia sepium*) o neem (*Azadirachta indica*) estos pueden servir como fuentes de fijación de nitrógeno atmosférico, de forraje o de materia prima para elaborar insecticidas o repelentes biológicos (IICA 2015).

Finalmente, además de las funciones mencionadas, las barreras vivas pueden ser utilizadas para delimitar potreros o terrenos agrícolas, así como para proteger a parcelas al lado abajo de contaminantes como abonos solubles o pesticidas que podrían ser trasladados en aguas superficiales desde las parcelas vecinas más altas. Este último aspecto es muy importante para proteger áreas de producción orgánica.



En contraste con barreras de materiales muertos, barreras vivas tienen los siguientes beneficios:

- Requieren de menos mano de obra y de menos dinero para su establecimiento.
- Pueden ser más estables a lo largo del tiempo (siempre y cuando haya suficiente agua para las plantas) y más efectivos porque siguen creciendo y pueden mejorar al suelo.
- Proveen hábitat para muchos organismos benéficos y producen materia orgánica.
- No necesitan desagües como es el caso con barreras muertas.
- ocupan poco espacio, por lo tanto, no se pierde mucha tierra cultivable.
- Los materiales podados se pueden usar como cobertura del suelo o como alimento animal.
- Pueden ser complementos efectivos para obras físicas.
- se adaptan automáticamente a los cambios del terreno cuando se forman pequeñas terrazas por la acumulación del suelo.

Otros cobeneficios provenientes de la siembra de barreras vivas son la conservación de suelo, agua y biodiversidad, contribuyendo a una mayor estabilidad en la producción (Cuadro 2)

**Cuadro 2.** Cobeneficios esperados con el uso de barreras vivas.

Socioeconómicos	Nivel o grado*	Ambientales	Nivel o grado*
Diversificación de la producción	1-2	Conservación de agua	2-3
Estabilidad en la producción	2-3	Conservación de Biodiversidad	1-3
Empleo	2	Conservación de suelo	3
Seguridad alimentaria	2	Reducción de GEI	1-2
Ingreso	1-2	Captura de Carbono	1

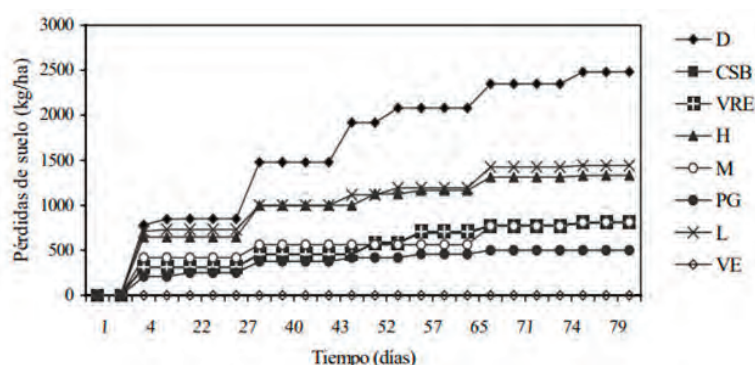
\*Nivel de beneficios: 1=bajo, 2=medio, 3=alto.

## CASOS DE ÉXITO

**El uso del Vetiver en Haití:** Desde los años 70 muchos proyectos fomentaron la siembra de vetiver en Haití para conservar los suelos fragiles en terrenos de ladera. En muchas zonas, esta iniciativa fue muy exitosa, sobre todo debido al crecimiento vigoroso de vetiver de un lado y a la falta de un valor económico para esta planta por el otro. Ironicamente, este mismo éxito se convirtió en una desventaja a partir del momento que se identificó el aceite de vetiver como un ingrediente valioso para la elaboracion de perfumes finos en Francia y otros países. A partir de este momento, el aceite de vetiver, extraído de las raíces de la planta, se convirtió, tanto para productores y comerciantes, en una fuente importante de ingreso. A precios superiores a USD 200 por litro de aceite, la cadena de valor generó un atractivo tan fuerte que muchas barreras vivas fueron destruidas, incluso en la época lluviosa cuando las barreras son más importantes. Cuando la cosecha de las raíces de vetiver coincide con lluvias, las consecuencias tienden a ser desastrosas por acelerar una erosión dramática (Freeman 2011). Este ejemplo ilustra como una practica exitosa puede ser anulada rápidamente cuando se unen intereses económicos de mercados externos con la necesidad de

los agricultores pobres por vender uno de los pocos productos que tienen. Sin duda, esta experiencia deja dos lecciones importantes: primero, es importante de diversificar las especies usadas para las barreras vivas para no depender de una sola especie y, segundo, cuando se trata de una planta con valor comercial, se recomienda un diseño en forma de barreras dobles que permiten cosechar una parte de la barrera sin perder la función de toda la barrera.

El segundo caso, barreras vivas en la producción de zanahoria en Venezuela. Usando parcelas de escorrentia y erosión instaladas en terrenos de 15 a 20% inclinación sembradas con zanahorias, Andrade y Rodríguez (2002) determinaron que el vetiver con diez años de establecido fue la barrera viva más eficiente para reducir las pérdidas de suelo, agua, materia orgánica y nutrientes, y para mantener el mayor contenido de humedad en el suelo, seguido por el pasto Guatemala, malojillo (zacate limon), y el vetiver recién establecido (Fig. 2). Los otros tratamientos con lirio y una especie de helecho fueron menos efectivos.



**Figura 2.** Pérdida de suelo en terrenos de 15 a 20% inclinación sembrados con zanahoria en Venezuela sin y con diferentes barreras vivas. Los tratamientos fueron: D: suelo desnudo; CSB: cultivo sin barrera; VRE: Vetiver recién establecido; H: helecho; M: malojillo ( zacate limon); PG: pasto Guatemala; L: lirio; VE: Vetiver establecido por 10 años (Fuente: Andrade y Rodríguez 2002).

## REFERENCIAS

Andrade O, Rodríguez OS 2002. Evaluación de la eficiencia de barreras vivas como sistemas de conservación de suelos en ladera. *Bioagro*, vol. 14, núm. 3, 2002, pp. 123- 133 (Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado Barquisimeto, Venezuela). Disponible en: [www.redalyc.org/pdf/857/85714301.pdf](http://www.redalyc.org/pdf/857/85714301.pdf)

Ávila GG 2003. Proyecto comunidades y cuencas. Barreras vivas. CIAT, Colombia. Disponible en [http://teca.fao.org/sites/default/files/technology\\_files/BARRERAS%20VIVAS.pdf](http://teca.fao.org/sites/default/files/technology_files/BARRERAS%20VIVAS.pdf).

Cubero D 1999. Las barreras vivas y su aplicación en agricultura conservacionista. IX Congreso Nacional Agronómico / III Congreso Nacional de Suelos 1999. Disponible en [www.mag.go.cr/congreso\\_agronomico\\_xi/a50-6907-III\\_003.pdf](http://www.mag.go.cr/congreso_agronomico_xi/a50-6907-III_003.pdf).

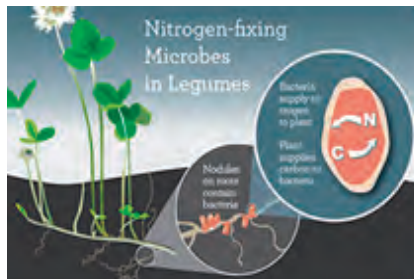
Freeman 2011 Vetiver in South-Western Haiti. [http://haiti.ciesin.columbia.edu/haiti\\_files/documents/Freeman\\_UNEP\\_Vetiver\\_Report\\_2011\\_0.pdf](http://haiti.ciesin.columbia.edu/haiti_files/documents/Freeman_UNEP_Vetiver_Report_2011_0.pdf)

Gaia-Movement s.f. Rainwater harvest with Vetiver. In: 40 Green World Actions. Available at: <http://gaia-movement.org/files/GWA%20Soil%20Sect%2023-24.pdf>

IICA 2015. Sistematización de buenas prácticas de adaptación del sector agropecuario ante el cambio climático. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. San José, Costa Rica. 42 pág.

SAGARPA 2012. Catálogo de obras y prácticas de conservación de suelo y agua. Prácticas vegetativas y agronómicas complementarias al proyecto integral. Disponible en: <http://www.sagarpa.gob.mx/desarrolloRural/noticias/2012/Julio/Documents/Pr%C3%A1cticas%20vegetativas%20y%20agron%C3%B3micas.pdf>.

## FICHA TÉCNICA: : microorganismos benéficos<sup>40</sup>



### ¿QUÉ SON LOS MICROORGANISMOS BENÉFICOS?

Los microorganismos benéficos se refieren a microorganismos que pueden mejorar la nutrición de las plantas, prevenir y controlar plagas y enfermedades de los cultivos, así como acelerar la descomposición de materiales orgánicos. En la agricultura se pueden emplear bacterias y hongos entomopatógenos en el control biológico de insectos, hongos y bacterias antagonistas para el control de enfermedades en los cultivos y microorganismos selectos que actúan como biofertilizantes o como descomponedores de excreta animal. El último grupo incluye a microorganismos de montaña (MM) y microorganismos eficientes (EM).

### ¿CUÁLES SON SUS BENEFICIOS?



### ¿EN CUÁLES ZONAS AGROECOLÓGICAS Y AGROECOSISTEMAS TIENEN MAYOR POTENCIAL DE APLICACIÓN?

La aplicación de microorganismos benéficos fomenta la transición desde una producción convencional basada en la aplicación de agroquímicos hacia una agricultura agroecológica. Estos microorganismos se pueden usar en todo tipo de agroecosistema siempre y cuando se den las condiciones adecuadas para su acción y sobrevivencia, sobre todo la protección contra temperaturas extremas, desecación y radiación ultravioleta. El uso de microorganismos benéficos genera el mayor beneficio en sistemas de producción agroecológica u orgánica donde no están sujetos a aplicaciones de fungicidas y otros químicos y cuando se aplican en condiciones que evitan el pleno sol o lluvia. Por las condiciones controladas en ambientes protegidos, el uso de estos microorganismos es particularmente promisorio en invernaderos y en establos de animales. Biocontroladores microbianos se pueden incluir en sistemas de "Manejo Integrado de Plagas" (MIP) siempre y cuando se evite su exposición a agroquímicos que pueden comprometer su sobrevivencia.

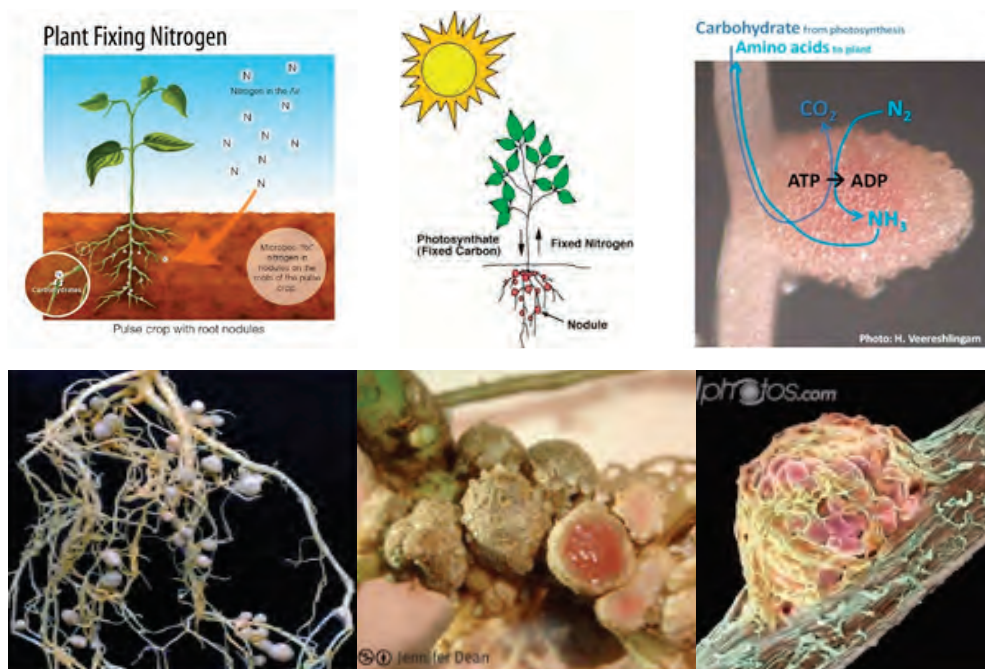
40. Microorganismos benéficos son muy efectivos para aumentar la fertilidad de suelos y para combatir plagas. De izquierda a derecha: 1. la bacteria *Rhizobium* fertiliza plantas con nitrógeno atmosférico, 2. hongos micorrizicos aumentan el acceso de plantas a fósforo y micronutrientes y 3. el hongo entomopatógeno *Beauveria bassiana* es muy utilizado para controlar insectos plaga y sus larvas. Fuentes de fotos: imagines de dominio publico en internet y Mother Earth News (centro)

## ¿CÓMO CONTRIBUYEN A REDUCIR LA VULNERABILIDAD AL CAMBIO CLIMÁTICO?

El uso de microorganismos benéficos puede reducir drásticamente las necesidades de fertilizantes y plaguicidas y puede aumentar la resiliencia ecológica de agroecosistemas al prevenir y controlar epidemias de plagas y enfermedades. Además, cuando se utilizan microorganismos descomponedores (muchas veces EM o MM) para tratar las camas en establos de cerdos, se reduce la demanda de agua para el lavado y el eventual uso de estos materiales de cama como abono orgánico ayuda a incrementar la retención de humedad en los suelos (Pell 2010). Ambos efectos fomentan un uso más eficiente de agua. Agroecosistemas diversificados, con poblaciones altas de una gama amplia de microorganismos benéficos, son menos vulnerables al cambio climático y a condiciones extremas, las cuales son cada vez más frecuentes y pueden fomentar el desarrollo de tales epidemias.

## ¿CÓMO FUNCIONAN Y COMO SE ESTABLECEN?

Los microorganismos benéficos incluyen a millones de especies (la mayoría desconocidos, Carris et ál. 2012) con múltiples funciones y roles en ecosistemas. Las funciones más importantes son la fijación biológica de nitrógeno (Figura 1), la simbiosis entre raíces y hongos para aumentar la capacidad de absorción de nutrientes (Figura 2), el control de plagas (Figura 3), y la descomposición de desechos biológicos y excretas de animales. El Cuadro 1 resume las funciones principales de microorganismos benéficos comúnmente utilizados en agricultura.



**Figura 1.** Microorganismos fomentan la nutrición de cultivos. Arriba: el asocio de bacterias fijadoras de nitrógeno con raíces de plantas leguminosas fertiliza los cultivos con nitrógeno atmosférico. Abajo: 1. nódulos en raíces de gandul (*Cajanus cajan*), 2. un nódulo abierto indicando la presencia de fijadores activos y 3. una imagen electromicroscópica de un nódulo de *Rhizobium* sobre una raíz de arveja. (Fuentes de imágenes sin autor: <http://1.bp.blogspot.com>; David J Westenberg, MST; Perret).



**Figura 2.** Hongos micorrizicos facilitan el acceso de cultivos a nutrientes y aumentan su crecimiento y salud (Fuentes: Aaron Miller, Mother Earth News; Alphaagsolutions.com; controlbio.es).



**Figura 3.** Microorganismos benéficos para controlar plagas. Los hongos entomopatógenos *Beauveria bassiana* (izquierda) y *Metarhizium spp.* (centro) son ampliamente utilizados para controlar a adultos y larvas de muchas plagas en agricultura. Foto a la derecha: el hongo *Arthrobotrys* es una de las 160 especies de hongos nematófagos que pueden atrapar y controlar nematodos en suelos<sup>41</sup>.

**Cuadro 1.** Funciones, ejemplos y relevancia de diferentes grupos de microorganismos benéficos utilizados en la agricultura agroecológica.

Función	Ejemplos	Relevancia para la agricultura y el combate del cambio climático
<b>Fijación de nitrógeno atmosférico</b>	<i>Rhizobium</i> en simbiosis con leguminosas	El N fijado “autofertiliza” las plantas y permite reducir la dependencia y uso de fertilizantes nitrogenados sintéticos (lo cual permite reducir la liberación de óxido nitroso, un gas potente de efecto invernadero).
<b>Mayor acceso de cultivos a nutrientes</b>	Hongos micorrizicos p.e. del género <i>Glomus</i>	Permite reducir la dependencia de fertilizantes de fósforo y micronutrientes; además aumentan la resistencia de cultivos a plagas, enfermedades y sequía.
<b>Control de insectos plaga</b>	Bacterias como <i>Bacillus thuringiensis</i>  Hongos como <i>Beauveria bassiana</i> , <i>Metarhizium anisopliae</i>  <i>Lecanicillium lecanii</i> , <i>L. longisporum</i> y <i>L. muscarium</i>	Controlan varios órdenes de insectos como coleópteros, lepidópteros. También pueden controlar nemátodos.  Controlan varios órdenes de insectos: lepidópteros ( <i>Mocis</i> , <i>Spodoptera</i> ), coleópteros ( <i>Cosmopolites</i> , <i>Pachnaeus</i> ), ortópteros ( <i>Locusta</i> ), otros  Controlan áfidos ( <i>Myzus</i> , <i>Aphis</i> ) y mosca blanca ( <i>Bemisia</i> ).

41. Fuente de fotos: larva con *Metarhizium* de <https://butterfliesandscience.files.wordpress.com> ; el hongo nematófago *Arthrobotrys* de [http://bio1151.nicerweb.com/Locked/media/ch31/31\\_04SpecializedHyphaeA.jpg](http://bio1151.nicerweb.com/Locked/media/ch31/31_04SpecializedHyphaeA.jpg)

Función	Ejemplos	Relevancia para la agricultura y el combate del cambio climático
<b>Control de enfermedades</b>	<i>Trichoderma spp.</i>	Combaten patógenos fúngicos de suelo y foliares ( <i>Rhizoctonia</i> , <i>Pythium</i> , <i>Phytophthora</i> , <i>Sclerotium</i> , <i>Alternaria</i> ) y nemátodos ( <i>Meloidogyne</i> , <i>Globodera</i> ). Además, <i>Trichoderma</i> estimula el crecimiento de plantas (biofertilización: solubilización fosfatos, Mg, Mn, Fe, fitohormonas) y sus mecanismos de defensa (fitoalexinas).
<b>Control de nemátodos</b>	<i>Bacillus subtilis</i>	Es una bacteria enemiga natural de hongos como <i>Rhizoctonia</i> , <i>Pythium</i> , <i>Phytophthora</i> y bacterias como <i>Erwinia</i> , <i>Pseudomonas</i> y <i>Xanthomonas</i>
<b>Microorganismos en abonos orgánicos y camas de animales en corral</b>	<i>Pochonia</i> <i>Trichoderma</i> <i>Paecilomyces</i>	Reduce la necesidad de nematicidas químicos y aumenta la supresividad del suelo.
	EM, MM	Complejos de “Microorganismos eficientes” (EM) y “Microorganismos de montaña” fortalecen cultivos y su resistencia a estrés ambiental, aceleran la descomposición de excretas y camas de animales estabulados y reducen la proliferación de moscas de establo.

Los microorganismos benéficos típicamente se reproducen en condiciones controladas para garantizar altas concentraciones y viabilidad. Para la aplicación en el campo, se recomienda aplicar controladores microbiales con equipo de aspersión bajo condiciones ambientales favorables en horas tempranas o tardías para evitar tanto la radiación directa solar como lluvias fuertes. Bacterias fijadoras de nitrógeno y hongos micorrizicos se aplican como polvo o en solución a semillas o al suelo para almácigos.

### ¿CUÁLES SON LOS REQUERIMIENTOS PARA SU IMPLEMENTACIÓN?

En general, el uso de biocontroladores microbiales tiene bajos costos, pero hay que considerar algunos requerimientos para lograr el mayor éxito. En comparación con agroquímicos, los biocontroladores microbiales son sujetos a una serie de limitantes incluyendo:

- Requieren de más tiempo para ser efectivos (a veces días hasta semanas)
- Tienen menor disponibilidad.
- Se inactivan más rápidamente por su sensibilidad a baja humedad relativa, a altas temperaturas y a radiación ultravioleta (UV).
- El tiempo de almacenaje es limitado (típicamente menos de tres a seis meses en refrigeración).
- Los usuarios necesitan ser capacitados para lograr alta efectividad.

El mayor costo corresponde a la compra de los microorganismos cuando se trata de cepas comerciales como microorganismos eficientes (EM). Sin embargo, cuando el productor mismo puede reproducir microorganismos benéficos (como es el caso para la reproducción de microorganismos de la montaña MM o ciertos hongos controladores), este costo se reduce sustancialmente. El mantenimiento es de bajo costo como muestra el Cuadro 2.

**Cuadro 2.** Requerimientos para establecer microorganismos benéficos

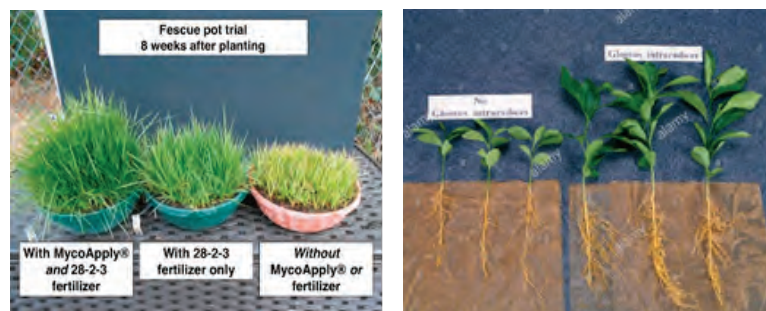
Requerimiento	Establecimiento*	Mantenimiento*
Mano de obra	1-2	1
Inversión o capital	1	1
Infraestructura	1	1
Maquinaria	1	1
Insumos biológicos	2-3	2

\*Nivel de costo: 1=bajo, 2=medio, 3=alto

## ¿QUÉ OTROS BENEFICIOS Y COBENEFICIOS APORTA ESTA PRÁCTICA?

### Beneficios esperados en la producción agrícola y/o pecuaria:

El empleo de microorganismos benéficos es una opción promisoriosa para reducir y, bajo ciertas condiciones favorables, hasta sustituir el uso de fertilizantes y plaguicidas químicos en agricultura (Martínez-Viera y Dibut-Álvarez 2012). En comparación con el uso de insecticidas como Chlorpyrifos, el uso de hongos entomopatógenos como *Beauveria bassiana* y *Metarhizium* spp. reduce los riesgos para la salud humana a menos de un 10% del riesgo vinculado al uso de los insecticidas (Jaronski 2012).



**Figura 4.** La aplicación de micorriza puede aumentar sustancialmente el crecimiento de cultivos y sus raíces como demostrado por una gramínea y plántulas de Citrus.

En comparación con agroquímicos, el uso de biocontroladores microbiales genera muchas ventajas, basado en el hecho que, generalmente, son:

- Más selectivos con un espectro de acción más limitado (p.e hongos entomopatógenos como enemigos naturales de ciertos insectos).
- Más inocuos para el ser humano y la naturaleza.
- De baja toxicidad (solo se autoriza su uso si está probado que no son peligrosos para mamíferos, aves, peces e insectos).

- Reproducibles a pequeña escala con bajos recursos.
- Pueden ser efectivos durante más tiempo (cuando se pueden establecer en un agroecosistema para ejercer su función).

Sin embargo, aunque los microorganismos benéficos representan un gran potencial, el desarrollo y la propagación de esta tecnología está todavía en su infancia y quedan muchos retos por resolver para lograr una adopción más amplia. Sin duda, un uso más generalizado será un ingrediente central para mejorar los sistemas agrícolas del futuro, tanto por reducir el impacto negativo de la producción basada en un alto consumo de agroquímicos, como por la generación de importantes servicios ambientales.

Los principales cobeneficios incluyen una mayor estabilidad de la producción al hacer el sistema agrícola más resiliente y, al reducir la dependencia de agroquímicos, en contribuir a la conservación de la calidad de agua y de la biodiversidad, así como a la reducción de gases de efecto invernadero (GEI). El uso de leguminosas es una manera de fertilización natural que permite reducir y hasta eliminar el uso de fertilizantes sintéticos y sus efectos negativos como fuente de óxido nitroso, un GEI potente. Otros cobeneficios importantes se generan, a un nivel intermedio, para la seguridad alimentaria y los ingresos por la mayor estabilidad de la producción. En total se puede notar que la adopción de un mayor uso de microorganismos benéficos es un ingrediente importante para la transición hacia una agricultura más sostenible basada en principios agroecológicos. El Cuadro 3 resume los cobeneficios de usar microorganismos benéficos.

**Cuadro 3.** Cobeneficios esperados con el uso de microorganismos benéficos.

Socioeconómicos	Nivel o grado*	Ambientales	Nivel o grado*
Diversificación de la producción	1	Conservación de agua	2-3
Estabilidad en la producción	2-3	Conservación de Biodiversidad	2-3
Empleo	1	Conservación de suelo	1
Seguridad alimentaria	2	Reducción de GEI	2
Ingreso	2	Captura de Carbono	1

\*Nivel de beneficios: 1=bajo, 2=medio, 3=alto.

## CASOS DE ÉXITO

Los beneficios de la aplicación de fijadores de nitrógeno y de micorriza se han manifestado en muchos ambientes y aplicaciones en agricultura, forestería, manejo de áreas verdes y en la conservación ambiental (Amaranthus et ál. 2012; Stamets 2005). Un caso interesante de éxito viene del desarrollo de productos comerciales de microorganismos para la nutrición y protección de cultivos en la agricultura cubana. En programas exitosos de agricultura urbana y periurbana, la aplicación sistemática de hongos benéficos como *Trichoderma* para aumentar la



supresividad de suelos contra enfermedades, la inoculación con bacterias fijadores de nitrógeno como *Rhizobium* o *Gluconobacter* (Martínez et ál. 2012) y el uso de hongos micorrizicos como *Glomus* contribuyen de manera importante a obtener altas productividades de 10 a 16 kg/m<sup>2</sup> de vegetales orgánicos incluso en suelos lateríticos. El sistema cubano de reproducción masiva de microorganismos benéficos ilustra el gran potencial de estos para sostener la salud y productividad de agroecosistemas con menor dependencia de insumos sintéticos. También, para la producción animal se dan muchas aplicaciones interesantes. Un ejemplo es el caso de la producción de cerdos aplicando un sistema de “camas profundas” tratadas con microorganismos, las cuales reducen el uso de agua para la limpieza de los corrales y evitan el desarrollo de malos olores y moscas (Qin et ál, 2013). Cuando los materiales absorbentes de la cama están saturados, se pueden compostear para luego aplicarlos a terrenos de cultivos.

## REFERENCIAS

Amaranthus M 2017. Documental sobre la importancia de micorriza en agricultura, forestería y conservación ambiental (18 min en <https://www.youtube.com/watch?v=QSuWHoa7rek>. Mas información útil en línea en <http://mycorrhizae.com> )

Amaranthus M, Simpson L, Malajczuk N 2012. Inoculate with Mycorrhizae - it's as easy as A-B-Seeds. ACRES 42 (1) 4 pages. Disponible en: <http://mycorrhizae.com/wp-content/uploads/2013/03/Inoculate-with-Mycorrhizae-PDF.pdf>

Carris, LM, Little CR, Stiles CM. 2012. Introduction to Fungi. The Plant Health Instructor. DOI:10.1094/PHI-I-2012-0426-01 <http://www.apsnet.org/edcenter/intropp/PathogenGroups/Pages/IntroFungi.aspx>

Jaronski S 2012. Microbial control of invertebrate pests. Pag. 72-95 En: Sundh I, Wilcks A, Goettel MS (eds.) 2012. Beneficial Microorganisms in Agriculture, Food and the Environment. CABI 343 pag.

Martínez-Viera R, Dibut-Álvarez B 2012. Biofertilizantes bacterianos. Editorial Científico-Técnica, La Habana, Cuba. 279 pag.

Qin, Z., Zhou, Z. Gu, H., Yang, J. Huan, H., Zhang, X., Yu, G. 2013. Advances in microbial strains and bedding materials in a deep-litter system for pig breeding. *Agricultural Science & Technology* 14: 915-921.

Pell, J. 2010. Natural farming with indigenous microorganisms, ACRES 40 (1) (Consultado en enero 2015 <http://hkpi.webs.com/Natural%20Farming%20with%20IMO.pdf>)

Stamets, Paul. 2005. Mycelium Running. How Mushrooms can help Save the World. Ten Speed Press, Berkeley, USA. 344 pp.

Sundh I, Wilcks A, Goettel MS (eds.) 2012. Beneficial Microorganisms in Agriculture, Food and the Environment. CABI 343 pag.

## FICHA TÉCNICA: Cobertura del suelo y abonos verdes<sup>42</sup>



### ¿QUÉ SON COBERTURAS DE SUELO Y ABONOS VERDES?

Coberturas de suelo son todo tipo de materiales que pueden formar una capa de protección en la superficie de los suelos contra el sol y la lluvia. Los materiales empleados incluyen materiales inertes, restos de plantas y plantas vivas (Figura 1).



**Figura 1.** Los tipos de cobertura incluyen a materiales vivos y muertos. Solamente las hierbas espontáneas, tradicionalmente llamadas “malezas”, requieren de manejo (Modificado de Gil et al. s.f.).

Cultivos de cobertura son plantas anuales o perennes, con raíces y follaje denso, que se cultivan con el propósito de cubrir el suelo, ofrecer protección y reducir la erosión. Abonos verdes son plantas que se siembran en tierras agrícolas o forestales con el fin explícito de mejorar la fertilidad del suelo con la materia orgánica y los nutrientes acumulados en su biomasa. Por su capacidad de fijar nitrógeno atmosférico, muchas veces se prefieren plantas leguminosas como abonos verdes.

### ¿CUÁLES SON SUS BENEFICIOS?

Coberturas de suelo son todo tipo de materiales que pueden formar una capa de protección en la superficie de los suelos contra el sol y la lluvia. Los materiales empleados incluyen materiales inertes, restos de plantas y plantas vivas (Figura 1).

42. Fotos de izquierda a derecha. 1. Los residuos de la cosecha anterior son usadas como cobertura muerta. 2. Cobertura viva de *Brachiaria* en el cultivo de café en Brasil. 3. Cosecha de semillas de una leguminosa usado como abono verde (Fuentes: Dominio Público de internet: Agro Siembra Directa, UBA Argentina; Revista Globorural; Condelmed, S.L.).



Las coberturas de suelo son de importancia fundamental en todas las zonas agroecológicas. Preferiblemente, los suelos nunca deberían ser expuestos al impacto de la lluvia y del sol, debido a que estos factores pueden reducir la fertilidad del suelo al causar erosión, pérdida de agua y empobrecimiento biológico de los suelos al calentar y secar la capa superficial.

Los abonos verdes se pueden sembrar en cualquier zona agroecológica con suficiente humedad para el crecimiento tanto de los cultivos principales como de los abonos verdes. Los mayores beneficios de utilizar abonos verdes se generan en agroecosistemas con suelos desprotegidos, degradados y propensos al impacto físico de la lluvia y del viento como agentes causantes de erosión. Por su protección de los suelos, sus aportes de nutrientes y materia orgánica, así como por sus raíces que amarran y fertilizan al suelo, abonos verdes son particularmente importantes en laderas, en suelos de baja fertilidad y en ambientes con temperaturas extremas (tanto altas como bajas). En zonas áridas, la falta de agua puede limitar la factibilidad de sembrar abonos verdes. En estas condiciones, se recomienda usar árboles de sombra que extraen humedad del subsuelo o coberturas muertas que no requieren de humedad.

### **¿CÓMO CONTRIBUYE A REDUCIR LA VULNERABILIDAD AL CAMBIO CLIMÁTICO?**

Coberturas vivas o muertas generan beneficios físicos y biológicos al proteger los suelos de temperaturas excesivas y contra el impacto erosivo de la lluvia o la escorrentía superficial. Esta protección permite mantener la estructura e infiltración de los suelos, así como la vida de organismos y microorganismos en ellos. Un suelo protegido tiene una mejor estructura con más poros y más vida en él, lo cual permite que haya una mayor infiltración en él y, por ende, una menor escorrentía del agua de lluvia. La cantidad y calidad del agua subterránea aumenta porque se favorece su infiltración y se reduce la evaporación por la cobertura.

Además, cuando se usan abonos verdes como cobertura viva, los abonos verdes tienden a suprimir el crecimiento de malezas, benefician a insectos polinizadores y antagonistas de plagas, y pueden proveer una gran cantidad de carbono y nutrientes en forma de materia orgánica, la cual aumenta la fertilidad del suelo y su capacidad de retener agua. El conjunto de estos factores mantiene o aumenta la capacidad productiva del suelo aún bajo condiciones de sequía o temperaturas extremas. Por ende, el uso de coberturas, particularmente de abonos verdes, reduce la vulnerabilidad al cambio climático.

### **¿CÓMO ESCOGER LOS CULTIVOS PARA ABONO VERDE Y ESTABLECERLOS?**

Para escoger las especies más apropiados como abonos verdes para un sistema agrícola se deben seleccionar especies de plantas:

- Adaptadas a las condiciones de clima y suelo
- Fáciles de establecer, mantener y controlar
- De bajos requerimientos de agua (para no competir con el cultivo)
- Plantas rastreras bajas a intermedias
- Altamente productivas para proveer mucha biomasa y nutrientes (sobre todo nitrógeno, como es el caso de leguminosas fijadoras de N)
- Compatibles con el cultivo
- Que haya semillas disponibles
- Que no sean hospederas de plagas y enfermedades de los cultivos
- Finalmente, las plantas no sean invasivas para no convertirse en un problema posterior

La mayoría de abonos verdes anuales se establecen de semillas. Sin embargo, algunas especies perenes como el maní forrajero se pueden establecer también con material vegetativo. Los sistemas agrícolas que emplean abonos verdes para mejorar la fertilidad del suelo se pueden agrupar en tres grupos (Benzing 2001; Colacelli s.f.; Fernández-Reynoso 2009):

**1) Abonos verdes con cultivos anuales:** típicamente, los abonos verdes son sembrados entre las líneas del cultivo o mezclados con él (Figura 2). Por ejemplo, para asociar maíz con leguminosas como frijoles, mucuna (frijol terciopelo), vezas y otros, las plantas del abono verde se pueden sembrar cuando el maíz ya está establecido; así se puede minimizar la competencia para las plantas jóvenes de maíz. Luego el abono verde se puede incorporar al suelo cuando se cosecha el maíz o se puede dejar para proteger el suelo hasta el próximo cultivo.



**Figura 2.** Izquierda: El uso de abonos verdes en asocio simultáneo con maíz. Centro: Guandul (*Cajanus cajan*) como abono verde asociado con yuca. Derecha: la Jícama (*Pachyrrhizus erosus*) es una planta leguminosa que puede ser utilizada para mejorar el suelo y también produce un tubérculo comestible (Fotos de RG Muschler en Finca Loroco, Costa Rica).

**2) Abonos verdes con cultivos perenes:** para el asocio con cultivos perenes como café, cacao, bananos o palmeras, o incluso con árboles maderables, se pueden usar muchas especies leguminosas como el frijol terciopelo (*Mucuna*), el maní forrajero (*Arachis pintoi*), especies de *Canavalia* y otras (Benzing 2001). Como en estos sistemas perenes los abonos verdes pueden mantenerse por periodos largos es de suma importancia evitar especies que pueden competir y hasta sofocar al cultivo o que puedan ser invasivas como la kudzu (varias especies de *Pueraria* spp.) en muchas regiones donde fue introducido como planta exótica.

**3) Abonos verdes en sistemas de rotación:** en estos sistemas se rotan siembras de abonos verdes con siembras de cultivos. En este caso, la siembra de abonos como la *Mucuna*, *Canavalia*, *Tithonia* o el frijol de palo (*Cajanus cajan*) se establecen en toda la parcela agrícola con el fin de cortarlos después de 3 a 6 meses para enriquecer el suelo con materia orgánica y nutrientes para el beneficio del cultivo siguiente. Las especies más utilizadas incluyen las siguientes: frijol terciopelo (*Mucuna deeringiana*), *Crotalaria mucronata*, *gandul* (*Cajanus cajan*), *Canavalia ensiformis*, *Soya perenne* (*Glycine wightii*), *Calopogonium muconoides*, *Centrosema pubescens*, Kudzú (*Pueraria phaseoloides*) y *Dolichos* (*Dolichos lablab*). Para más información de los aportes nutricionales se puede consultar en Benzing (2001) y en internet.

### ¿CUÁNDO SE DEBE INCORPORAR EL ABONO VERDE?

La decisión de incorporar o no el abono verde depende del objetivo que se busca y del equipo y herramienta disponible. Cuando se desea proteger el suelo y controlar el crecimiento de malezas, se deja el abono verde acamado y entero; en este caso, la descomposición y, por ende, la liberación de nutrientes ocurre lentamente. Cuando se desea aumentar la materia orgánica del suelo y proveer los nutrientes liberados rápidamente, el abono verde se puede cortar en partes pequeñas e incorporarlo en los primeros 10 cm de suelo con un arado, pala o azadón. Después de tres a cuatro semanas, cuando se dé la descomposición de la biomasa fresca, se pueden sembrar los cultivos comerciales (SAGARPA 2014). Los abonos verdes pueden contribuir una cantidad sustancial de nitrógeno proveniente de la fijación biológica, muchas veces en un rango de 100-300 kg N/ha (Benzing 2001; Restrepo 1998). Con el fin de optimizar el aprovechamiento de los nutrientes en los abonos, es importante de planificar la siembra del cultivo de tal forma que los momentos de mayor demanda de nutrientes por parte del cultivo coincidan con los momentos de mayor liberación de nutrientes por parte de la biomasa del abono verde.

### ¿CUÁLES SON LOS REQUERIMIENTOS PARA SU IMPLEMENTACIÓN?

El uso de coberturas de suelo no tiene requerimientos especiales (Cuadro 1) y los costos son muy bajos comparados con los beneficios. El establecimiento de abonos verdes es una práctica barata que no requiere de muchos insumos excepto las semillas necesarias, la mano de obra para su establecimiento y cosecha, así como las herramientas o maquinaria para incorporarlos al suelo si fuera el caso.

**Cuadro 2.** Requerimientos para establecer microorganismos benéficos

Requerimiento	Establecimiento*	Mantenimiento*
Mano de obra	1-2	1-2
Inversión o capital	1	1
Infraestructura	N/a	N/a
Maquinaria	1-2	1-2
Insumos biológicos	2 (semillas)	1

\*Nivel de costo: 1=bajo, 2=medio, 3=alto, N/a=no aplica

## ¿QUÉ OTROS BENEFICIOS Y COBENEFICIOS APORTA ESTA PRÁCTICA?

### Beneficios esperados en la producción agrícola y/o pecuaria

La cobertura del suelo reduce la variación de temperaturas extremas del suelo superficial y reduce la pérdida de agua por evaporación. Estos factores son de gran beneficio para la conservación del agua y para mantener la vida en el suelo que es clave para su fertilidad. Con el uso de abonos verdes el suelo se enriquece con materia orgánica y con nutrientes (leguminosas pueden aportar hasta más de 200 kg de nitrógeno/ha fijado de la atmósfera!). Como resultado se puede obtener un incremento sustancial en el rendimiento del cultivo siguiente o asociado (muchas veces más de 1 t/ha en la producción de granos como maíz; Benzing 2001). Otros beneficios son una reducción de la necesidad de laboreo en la preparación del terreno para una futura siembra, un ahorro sustancial de fertilizante nitrogenado (reduciendo las emisiones a la atmósfera de óxido nítrico proveniente de los fertilizantes nitrogenados), una mayor cantidad de agua disponible en suelos protegidos, una mayor penetración de las raíces del cultivo, beneficios para insectos polinizadores y controladores, y posiblemente una reducción de enfermedades o plagas que afectan a cultivos en ausencia de otras plantas. El uso de abonos verdes también genera muchos co-beneficios importantes (Cuadro 2).

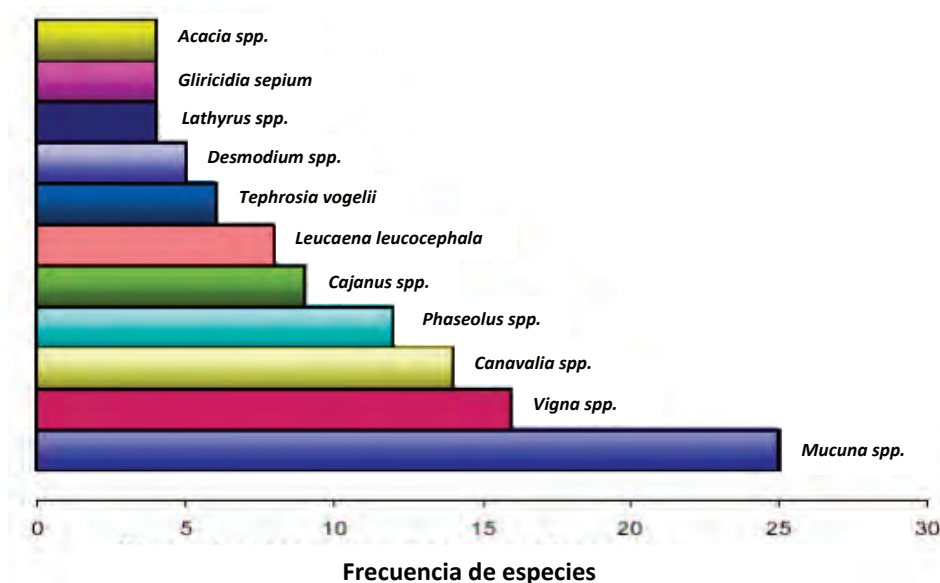
**Cuadro 2.** Cobeneficios esperados con el uso de coberturas del suelo y/o abonos verdes.

Socioeconómicos	Nivel o grado de costos*	Ambientales	Nivel o grado de costos*
Diversificación de la producción	3	Conservación de agua	2-3
Estabilidad en la producción	2 a 3	Conservación de biodiversidad	2-3
Empleo	1-2	Conservación de suelo	3
Seguridad alimentaria	2-3	Reducción de GEI	2-3
Ingreso	2-3	Captura de carbono	2-3

\*Nivel de beneficios: 1=bajo, 2=medio, 3=alto.

## CASOS DE ÉXITO

Los abonos verdes pueden proporcionar grandes cantidades de nutrientes y de materia orgánica. Según Robert (2002) la leguminosa *Mucuna* puede fijar unos 150 kg N/ha/año y puede contribuir unas 35-50 t/ha/año de biomasa la cual es muy importante para mantener los organismos benéficos del suelo. Por esto hay cada vez más agricultores que incorporan *Mucuna* y otras plantas como abonos verdes en sus sistemas (Fig. 4).



**Figura 4.** Especies más usadas como abonos verdes en Centroamérica. Se resalta el uso amplio de *Mucuna sp.* debido a sus grandes bondades para mejorar las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo (Fuente: CIDICCO 2003).

Un segundo ejemplo viene de plantaciones de banano en Costa Rica: después de cuatro cosechas, Pérez (1997) reportó una mayor área foliar, así como un mayor peso y más manos por racimo cuando se incluyó la leguminosa maní forrajero (*Arachis pintoi*) como cobertura y abono verde en las plantaciones.

Un tercer caso viene de la producción de caña de azúcar con *Crotalaria juncea* y *Canavalia ensiformis* como abonos verdes intercalados con caña. Luego de 65 días después de siembra, Pérez et al. (2008) registraron un aporte de 23,4 t/ha de materia fresca por *C. juncea* y de 19,2 t/ha por *C. ensiformis*. La concentración de nitrógeno fue de 3,3% en *C. juncea* y de 3,5% en *C. ensiformis*, generando aportes netos al suelo de 157 y 117 kg N/ha, respectivamente. Adicionalmente, se registró una reducción de arvenses en un 62% usando *C. júncea* y un 42% con *C. ensiformis* comparadas con la parcela testigo donde las arvenses crecieron libremente en el suelo desnudo (Pérez, et al. 2008). Efectos similares se pueden esperar con otras especies en diferentes sistemas.

## RETOS Y LIMITANTES

Cuando se usan los residuos de un cultivo como cobertura muerta hay que asegurarse que estos restos no presenten un problema fitosanitario para el cultivo siguiente. Hay que tomar precauciones especiales y eliminar el rastrojo si el cultivo ha estado enfermo y puede contagiar al siguiente ciclo. La rotación de cultivos que no comparten las mismas plagas y enfermedades ayuda también a minimizar este problema.

## REFERENCIAS

Benzing A 2001. Agricultura orgánica. Fundamentos para la Región Andina. Neckar-Verlag GmbH, Villingen-Schwenningen, Alemania. 680p

CIDICCO. 2003. Catálogo de Abonos verdes / cultivos de cobertura (CCAV) empleados por pequeños productores de los trópicos. Centro Internacional de Información sobre Cultivos de Cobertura. Tegucigalpa, Honduras 7 pág.

Colacelli N A, s.f. Abonos verdes: su importancia y utilización. Cátedra de Uso del Suelo <http://ecathsl.s3.amazonaws.com/forrajicultura/ABONOS%20VERDES.pdf> Consultado agosto 2017

Fernández-Reynoso DS, Martínez-Menes MS, Ramírez-Ortega M de L (2009). Prácticas vegetativas y agronómicas complementarias al proyecto integral. En: Catálogo de obras y prácticas de conservación de suelo y agua. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación del Estado de México (SAGARPA). [http://www.sagarpa.gob.mx/desarrolloRural/Documents/fichasCOUSSA/CATALOGO%20DE%20OBRASb2%20\(2\).pdf](http://www.sagarpa.gob.mx/desarrolloRural/Documents/fichasCOUSSA/CATALOGO%20DE%20OBRASb2%20(2).pdf) Consultado agosto 2017

Gil J, Blanco-Roldán GL, Rodríguez-Lizana YA, sin fecha. Inventario de Tecnologías disponibles en España para la lucha contra la desertificación. Técnicas de Agricultura de Conservación. Ficha técnica nº3. [http://www.mapama.gob.es/es/desarrollo-rural/temas/politica-forestal/desertificacion-restauracion-forestal/lucha-contra-la-desertificacion/lch\\_inv\\_tec\\_agricultura\\_conserv.aspx](http://www.mapama.gob.es/es/desarrollo-rural/temas/politica-forestal/desertificacion-restauracion-forestal/lucha-contra-la-desertificacion/lch_inv_tec_agricultura_conserv.aspx)

Pérez O, Hernández F, López A, Balañá P, Solares E, Maldonado A (2008). El uso de abonos verdes como alternativa para mejorar la productividad y sostenibilidad del cultivo de la caña de azúcar. Sugar Journal 70 (9): 14-21

Pérez, L. (1997) Evaluación de introducciones de *Arachis pintoi* como plantas de cobertura en banano Cv "Gran enano" (Musa AAA). Revista semestral de la Corporación Bananera Nacional (CORBANA, Costa Rica) 22(48): 77-88.

Robert, M. (2002). Captura de carbono en los suelos para un mejor manejo de la tierra (Vol. 96). FAO. Roma. Disponible en: <http://www.fao.org/3/a-bl001s.pdf>

SAGARPA 2014. Abonos verdes. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación del Estado de México (SAGARPA). Tomado de <http://www.sagarpa.gob.mx/desarrolloRural/Documents/fichasCOUSSA/Abonos%20Verdes.pdf> Consultado agosto 2017

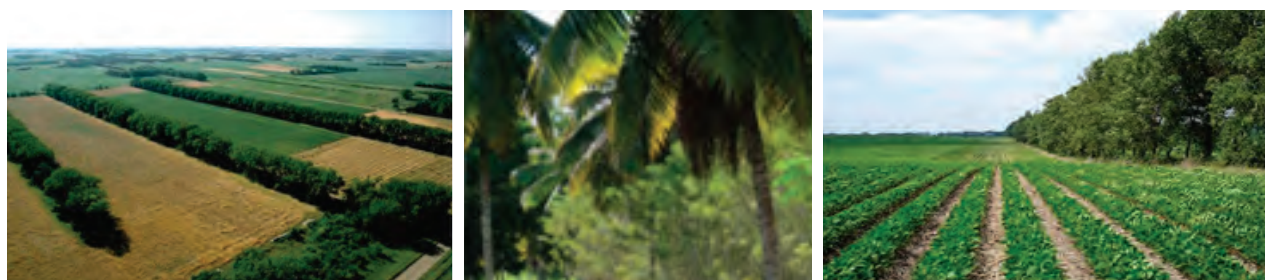
Restrepo, R. (1998). El suelo, la vida y los abonos orgánicos. Colección Agricultura ecológica para participantes (Nicaragua). <http://www.sidalc.net/cgi-bin/wxis.exe/?IsisScript=EIAG.xis&method=post&formato=2&cantidad=1&expresion=mfn=000709> Consultado agosto 2017.



# INNOVACIÓN: MICROCLIMA

- Cortinas Rompevientos
- Árboles de sombra
- Ambientes protegidos (invernaderos, bandas plásticas, mallas).

## FICHA TÉCNICA: Cortinas rompeviento<sup>43</sup>



### ¿QUÉ SON LAS CORTINAS ROMPEVIENTOS?

Las cortinas rompevientos son sistemas agroforestales que consisten en densas filas de árboles y arbustos que funcionan como barreras de vegetación para disminuir la velocidad y fuerza del viento, así como la incidencia de temperaturas extremas (altas o bajas).

### ¿CUÁLES SON SUS BENEFICIOS?



### ¿EN CUÁLES ZONAS AGROECOLÓGICAS Y AGROECOSISTEMAS TIENEN MAYOR POTENCIAL DE APLICACIÓN?

El establecimiento y manejo de rompevientos es una práctica de suma importancia en zonas expuestas a vientos fuertes para mejorar el microclima para los cultivos y el ganado, así como para reducir la erosión eólica. Sus beneficios son claves en regiones semiáridas donde los vientos secos tienen mayor potencial de causar erosión y daños en cultivos, animales y humanos. También, son esenciales en zonas montañosas para aliviar el efecto de viento frío o desecante (Muschler 2016; Beer et ál. 2004).

43. Fotos izquierda y derecha: cortinas rompeviento en zonas agrícolas de Estados Unidos; Centro: una cerca viva que también amortigua vientos en un potrero de República Dominicana (Fotos cortesía de Oklahoma Forestry Service; Reinhold Muschler y University of Minnesota Extension Service).

## ¿CÓMO CONTRIBUYE A REDUCIR LA VULNERABILIDAD AL CAMBIO CLIMÁTICO?

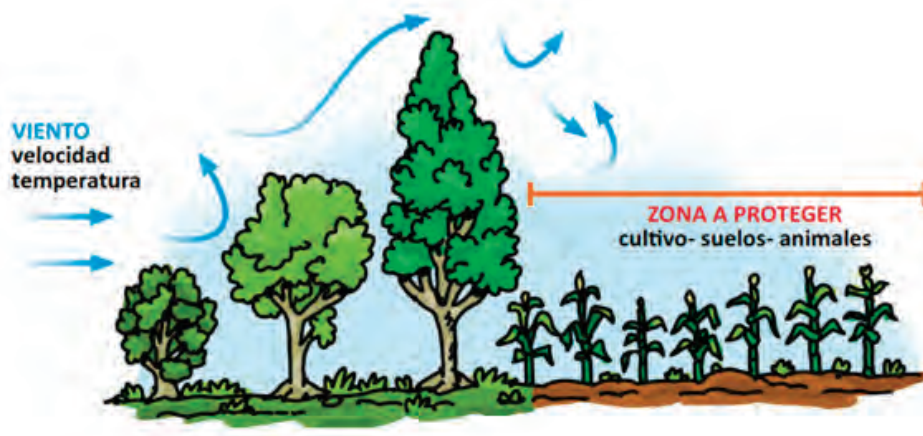
Las cortinas rompeviento crean un microclima favorable para los cultivos agrícolas y el ganado, para la protección de fuentes de agua y la conservación de suelos (Vargas-Campos 2010). Estos beneficios son aún más importantes bajo los escenarios de cambio climático que proyecta eventos extremos, incluyendo vientos fuertes con mayor frecuencia. Por ende, esta práctica ayuda a reducir la vulnerabilidad al cambio climático.

## ¿CÓMO FUNCIONAN Y CÓMO SE ESTABLECEN?

Idealmente, las cortinas rompeviento combinan el efecto barrera de plantas de diferentes tamaños y densidades, asegurando una permeabilidad mínima que es necesaria para evitar la formación de remolinos de aire al lado atrás de ellas. Dependiendo de la función y del ambiente, las cortinas rompeviento difieren en su composición de especies, así como en el espaciamiento entre plantas y la dimensión total (Martínez-Rodríguez et ál. 2017; Muschler 2016).

Uno de los primeros pasos para implementar cortinas rompeviento es elegir la o las especies más apropiadas que conformarán la barrera. Entre las características deseables de los árboles están: 1. tener una copa con follaje siempreverde, abundante y cerrado; 2. poseer ramas y hojas resistentes a los vientos; 3. tener sistemas de raíces fuertes y profundos; 4. crecer rápidamente y 5. tener una vida larga.

Para la protección óptima de los cultivos se recomienda establecer cortinas rompevientos de tres hileras (Figura 1): la primera de arbustos locales para el estrato bajo de hasta 1 o 1,5 m y dos otras hileras de árboles para los estratos medio y alto. Para muchas especies se recomienda una distancia de 2 m entre las hileras (Vargas-Campos 2010).



**Figura 1.** Esquema de un rompeviento para proteger a cultivos de vientos extremos. Típicamente, la zona de protección se extiende hasta una distancia que equivale a 10 veces la altura del rompeviento

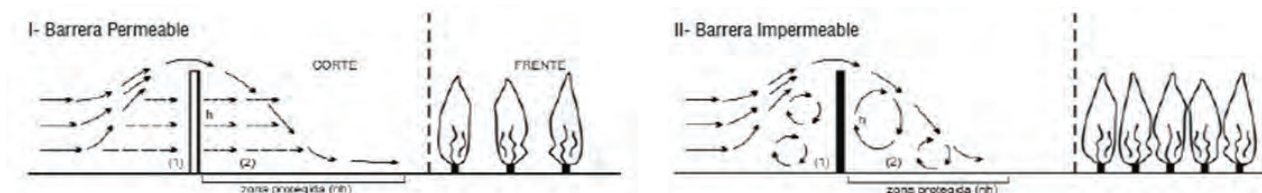
**Fuente:** Martínez-Rodríguez et ál. 2017

Para la selección de especies apropiadas, se debe asegurar que las plantas de la cortina rompeviento sean compatibles con los cultivos a proteger y que no tengan efectos negativos en los cultivos cercanos debido a competencia por agua o nutrientes, o por la producción de sustancias tóxicas (alelopatía) que se pueden acumular en el suelo. Este tipo de efectos negativos está bien documentado para varias especies de eucalipto, pino y nogales.

En la medida de lo posible, las cortinas rompeviento se establecen en dirección perpendicular a los vientos dominantes tomando en cuenta la topografía del terreno (Faustino 2000). Como regla general, se estima que el efecto de protección de una barrera rompevientos se extiende en la dirección del sotavento de unas ocho a diez veces la altura de la barrera (Figura 1).

Otras recomendaciones generales para el establecimiento en campo son:

- Plantar las especies al inicio de la época de lluvias
- Asegurar una cortina uniforme con el 100% de la hilera cubierta, pero con una permeabilidad mínima para evitar la formación de remolinos de viento no deseados (Figura 2)
- Proteger las cortinas de ambos lados en caso de existir ganado cerca
- Controlar la vegetación natural alrededor de las cortinas
- Realizar podas de formación en caso de árboles frutales y maderables



**Figura 2.** Las cortinas rompeviento deben tener una permeabilidad mínima para evitar la formación de remolinos dañinos .

## ¿CUÁLES SON LOS REQUERIMIENTOS PARA SU IMPLEMENTACIÓN?

Como se puede ver en el Cuadro 1, la mayor inversión se requiere en el momento del establecimiento para la compra de los árboles y arbustos y para los costos de siembra. El mantenimiento tiene costos muy bajos vinculados a podas de formación o control de crecimiento<sup>44</sup>.

44. Fuente: <http://www.tangiblex.net/apps/diego/wp/wp-content/uploads/2013/07/img16423.gif>

**Cuadro 1.** Requerimientos para el establecimiento de cortinas rompevientos.

Requerimiento	Establecimiento*	Mantenimiento*
Mano de obra	3	1-2
Inversión o capital	2	1
Infraestructura	1	N/A**
Maquinaria	1	N/A**
Insumos biológicos	2	1

\*Nivel de costo: 1=bajo, 2=medio, 3=alto

\*\*N/A: no aplica.

## ¿QUÉ OTROS BENEFICIOS Y COBENEFICIOS APORTA ESTA PRÁCTICA?

### Beneficios esperados en la producción agrícola y/o pecuaria

Las cortinas rompeviento pueden aumentar la productividad de los cultivos o ganado y tener un efecto positivo en el control de plagas, sobre todo por la función de la cortina como hábitat para animales controladores (aves, avispas, microorganismos benéficos etc.) y polinizadores. El crecimiento de raíces de los árboles y arbustos a diferentes profundidades mejora las condiciones físicas, químicas y biológicas de los suelos y tiende a aumentar la infiltración de agua. En el caso de elegir especies leguminosas, los cultivos pueden beneficiarse adicionalmente por los aportes de nitrógeno, debido a la fijación biológica de nitrógeno por parte de los simbiontes asociados. Otro de los beneficios de rompevientos es, dependiendo de la especie, la producción de frutas, leña, madera y forraje para el ganado.

Los cobeneficios de rompevientos incluyen a muchas funciones, sobre todo la conservación de suelos y biodiversidad (Cuadro 2). A nivel del paisaje, las cortinas rompeviento pueden proveer hábitat y recursos para la biodiversidad (incluyendo dispersores de semillas, polinizadores, y enemigos naturales de las plagas) y muchos animales silvestres aprovechan las cortinas rompeviento como corredores biológicos para cruzar de un ecosistema a otro. Finalmente, la presencia de rompevientos también incrementa la belleza natural del paisaje (Vargas-Campos 2010).

**Cuadro 2.** Cobeneficios esperados con el uso de cortinas rompevientos.

Socioeconómicos	Nivel o grado de costos*	Ambientales	Nivel o grado de costos*
Diversificación de la producción	2	Conservación de agua	1-2
Estabilidad en la producción	2	Conservación de Biodiversidad	2-3
Empleo	1	Conservación de suelo	2-3
Seguridad alimentaria	2	Reducción de gases de efecto invernadero (GEI)	1
Ingreso	2	Captura de Carbono	1-2

\*Nivel de beneficios: \*1=bajo, 2=medio, 3=alto

## CASOS DE ÉXITO

Un ejemplo ilustrativo viene del establecimiento de cortinas rompevientos en las montañas de Monteverde, Costa Rica. En esta zona, el paisaje consiste en potreros para ganadería de doble propósito o lechería, campos agrícolas (sobre todo café, caña y hortalizas), pequeños fragmentos de bosque y áreas residenciales. Por su clima particular, esta zona montañosa enfrenta diversos problemas productivos y ambientales, agravados por una alta tasa de deforestación. Uno de los principales problemas de la zona es la presencia de vientos alisios del Noreste durante la época seca (diciembre a marzo), que pueden superar una velocidad de 20-40 km/h. Estos vientos son lo suficientemente fuertes para causar daños al ganado, a pastos, cultivos y al suelo.

Para enfrentar estos problemas, se inició un proyecto de reforestación en la zona, incluyendo el establecimiento de cortinas rompevientos en las fincas con dos objetivos principales: 1) proteger suelos, potreros, cultivos, animales, nacientes de agua, ríos, y terrenos con altas pendientes y 2) establecer fajas de árboles que podrían servir como hábitat para la fauna y flora local; así como para conectar parches de bosques dispersos para el beneficio de animales (aves, mamíferos, insectos) que aprovechan estas fajas como corredores biológicos.

A lo largo de seis años, el proyecto logró involucrar a 260 productores (90% de los productores de la zona) y establecer 1000 cortinas rompevientos en 186 km lineales. De esta forma, el proyecto logró mejorar la producción de las fincas, proveer otros productos como miel, leña, postes y madera y, un elemento central para la adaptación al cambio climático, fomentar la conservación de suelos, aguas y biodiversidad en el paisaje (Faustino 2000). Sin duda, la mayor incidencia de eventos de vientos fuertes en el futuro demandará una mayor adopción de esta práctica agroforestal.

## REFERENCIAS

Beer J, Ibrahim M, Barrance A, Leakey R (2004). Establishment and management of trees in agroforestry systems. Oxford Forestry Institute.

Faustino J 2000. Cortinas rompevientos. In Méndez E; Beer J; Otárola A (eds.). Plantación de Árboles en Línea. CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza). Turrialba, Costa Rica, p. 140. (Materiales de Enseñanza N°39).

Martínez-Rodríguez, MR; Viguera, B; Donatti, CI; Harvey, CA; Alpizar, F. 2017. Cómo enfrentar el cambio climático desde la agricultura: Prácticas de adaptación basadas en ecosistemas (AbE) 1ed. Turrialba, Costa Rica. 41 p. (Módulo 4).

Muschler RG, 2016. Agroforestry: essential for climate-smart land use? Pp. 2013-2116 In: Pancel L, Köhl M (eds.). Tropical Forestry Handbook, 2nd ed. Springer. 4 Volumen. 3633 pp. DOI 10.1007/978-3-642-41554-8\_300-1

Vargas-Campos E (ed.). 2010. Guía Técnica para la Difusión de Tecnologías de Producción Agropecuaria Sostenible. Ministerio de Agricultura y Ganadería, Costa Rica San José, Costa Rica, Litografía e Imprenta LiL, S.A. 180 p.

## FICHA TÉCNICA: Árboles de sombra<sup>45</sup>



### ¿QUÉ SON “ÁRBOLES DE SOMBRA”?

La siembra de árboles de sombra adecuados, manejados según las necesidades de los cultivos asociados, permite mejorar las condiciones microclimáticas (temperatura, humedad relativa, viento) y las propiedades del suelo (fertilidad, humedad del suelo, etc.). Estos beneficios generados por los árboles asociados a cultivos o animales forman la base para la evolución de la agroforestería y para la promoción amplia de sistemas agroforestales alrededor del mundo (Muschler 2016).

### ¿CUÁLES SON SUS BENEFICIOS?



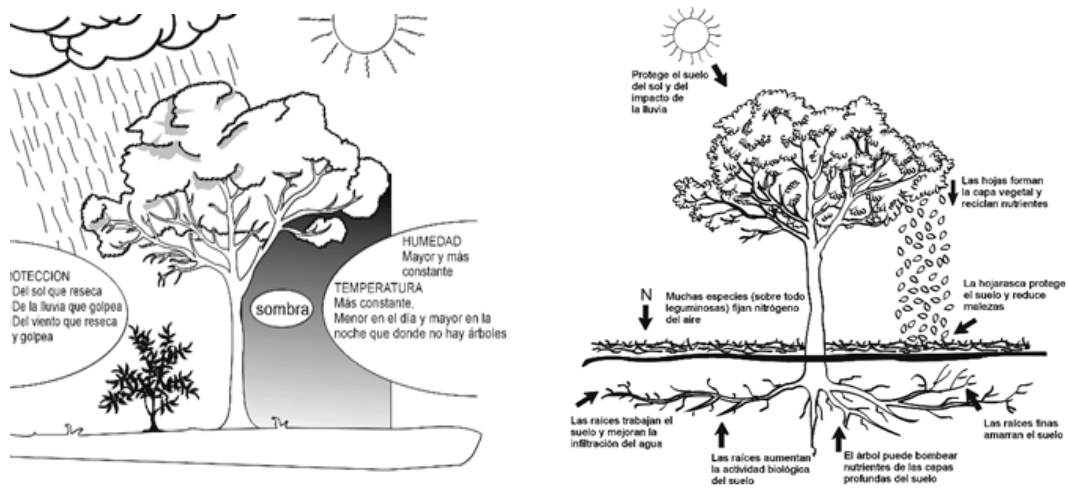
### ¿EN CUÁLES ZONAS AGROECOLÓGICAS Y AGROECOSISTEMAS TIENEN MAYOR POTENCIAL DE APLICACIÓN?

El uso de árboles de sombra generan los siguientes beneficios: 1) mejorar el microclima, 2) proveer hábitat para la vida silvestre, incluyendo a organismos benéficos como polinizadores y controladores de plagas y enfermedades, y 3) conservar o aumentar la fertilidad de los suelos, especialmente cuando se trata de árboles leguminosos que fijan nitrógeno atmosférico. Por ende, el uso de árboles de sombra es de mayor importancia en agroecosistemas sujetos a limitantes climáticas por temperaturas extremas, sequía o vientos fuertes, en paisajes con poca biodiversidad, así como en suelos con baja fertilidad y en terrenos inclinados. En estos ambientes, los árboles pueden ser de suma importancia para reducir el estrés térmico en el ganado y para beneficiar a cultivos adaptados a sombra como café o cacao en condiciones subóptimas para estos cultivos (Muschler 2016; IICA 2016). Debido a la pérdida galopante de polinizadores y otros organismos benéficos en los sistemas agrícolas de altos insumos, la importancia de árboles aumenta también en paisajes dominados por monocultivos.

45. Fotos de izquierda a derecha: 1. Cocos como árboles de sombra en un potrero en República Dominicana; 2. Árbol de Inga spp. abrigando a cafetos en el norte de México; 3. Árboles de la especie maderable *Cordia alliodora* y de la leguminosa *Erythrina poeppigiana* para dar sombra a un cafetal en Costa Rica (Fuente: cortesía de Reinhold Muschler).

## ¿CÓMO CONTRIBUYE A REDUCIR LA VULNERABILIDAD AL CAMBIO CLIMÁTICO?

La práctica árboles de sombra proveen muchos beneficios para agroecosistemas, incluyendo productos como frutas, leña, madera, así como servicios ambientales. Los árboles de sombra protegen a los animales o cultivos asociados de extremos climáticos y contribuyen a conservar, o aumentar, el contenido de materia orgánica y, por ende, la fertilidad de los suelos (Figura 1). Lo anterior permite retener más nutrientes y almacenar más agua en los suelos para sostener su flujo durante las sequías. Por ende, la presencia de árboles reduce la vulnerabilidad de ecosistemas al cambio climático.



**Figura 1.** Las funciones principales de árboles de sombra para moderar factores microclimáticos y para conservar y hasta mejorar la fertilidad de suelos.

## ¿CÓMO SE ESTABLECEN?

La selección de los árboles y arbustos más adecuados, la mezcla de especies y la densidad de siembra depende principalmente de los objetivos de producción, las exigencias de los cultivos y/o animales asociados, así como de las limitantes del suelo y el clima (Muschler 2001a; 2016). Las especies de sombra pueden incluir árboles frutales, maderables o árboles de servicio, así como también diferentes especies de bambú (muy útiles a lo largo de cauces de ríos y en terrenos muy inclinados), palmeras, arbustos y cultivos como bananos y plátanos.

El diseño de la sombra de un campo agrícola o potrero no puede ser una “receta estándar”, ya que el resultado final debe responder a muchos factores (Muschler 2001; Somarriba 2004). Para poder escoger las especies, mezclas y densidades más apropiadas en cada situación, se deben considerar al menos los siguientes aspectos:

- ¿Cuáles otros bienes y servicios, además del cultivo principal o ganado, espera el productor obtener de su campo agrícola o potrero? Las especies que sembrar como árboles de sombra deben corresponder a los objetivos del productor y a las condiciones del sitio.

- ¿Cuánta sombra deben o pueden proyectar las copas de los árboles para maximizar los beneficios para el cultivo principal o el ganado? Para esta pregunta es importante considerar el estado nutricional y fitosanitario de la plantación o del potrero y las necesidades del ganado para cumplir las exigencias principales. También hay que considerar la sombra lateral por vegetación colindante; así como aspectos locales como la nubosidad y la incidencia de vientos.
- ¿Cuáles especies, en qué densidades, en qué arreglos de siembra y con qué manejo deben introducirse en el sistema agrícola/agroforestal para lograr en forma óptima los objetivos del productor? Considerando la importancia de la flora local para insectos, mamíferos y aves que dependen de ellos, se recomienda dar prioridad a especies nativas sobre especies exóticas (Muschler 2016). El número de árboles a sembrar, la mezcla de especies y el manejo depende de los requerimientos de los cultivos y/o animales. En función de su crecimiento y los objetivos de producción, los árboles se deben someter a raleos y podas de formación para evitar sombra excesiva y eliminar ramas bajas que pueden reducir la calidad de la madera. (Villarreyña et al. 2017)

Para cultivos que requieren de mucho sol (por ejemplo, caña de azúcar, granos básicos o piña), los árboles pueden ser establecidos en franjas o “islas” en los bordes de las parcelas. De esta manera, no crean mucha sombra para los cultivos, pero sí pueden proveer sus otros servicios ambientales para la conservación de suelos, aguas y biodiversidad.

## ¿CUÁLES SON LOS REQUERIMIENTOS PARA SU IMPLEMENTACIÓN?

El establecimiento y mantenimiento de árboles de sombra requiere de relativamente pocos insumos como se resume en el Cuadro 1.

**Cuadro 1.** Requerimientos para la implementación de la práctica árboles de sombra.

Requerimiento	Establecimiento*	Mantenimiento*
Mano de obra	1-2	1
Inversión o capital	1-2	1
Infraestructura	1	1
Maquinaria	1	1
Insumos biológicos	1-2	1

\*Nivel de costo:1=bajo, 2=medio, 3=alto

## ¿QUÉ OTROS BENEFICIOS Y COBENEFICIOS APORTA ESTA PRÁCTICA?

### Beneficios esperados en la producción agrícola y/o pecuaria

Al proveer sombra y protección contra temperaturas extremas, los árboles de sombra pueden mejorar el rendimiento de los cultivos y animales protegidos de manera sustancial. La provisión de frutos y follaje para consumo animal puede ser muy importante, especialmente hacia el final de la época seca cuando otras fuentes de alimento escasean. Además, por el reciclaje de nutrientes de mayores profundidades del suelo, la contribución de materia orgánica al suelo y, en el caso de



árboles leguminosos, por la fijación biológica de nitrógeno atmosférico, los árboles pueden aumentar la fertilidad de los suelos. Las mejoras de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo se reflejan en mayor infiltración y almacenamiento del agua de lluvia y en mayor crecimiento de los cultivos y forrajes. Finalmente, muchos árboles fungen como hábitat para organismos benéficos como polinizadores y controladores de plagas y enfermedades, así como para la fauna local.

Cabe resaltar que, si los árboles son muy competitivos o si la sombra no es bien manejada o excesiva, se puede reducir la producción agrícola por competencia de luz, nutrientes o agua. También pueden existir efectos alelopáticos por parte de ciertas especies de árboles que suprimen el crecimiento de otras plantas. Ejemplos notorios son algunas especies de eucalipto, pino o nogal. Para cada situación, la selección de las especies más apropiadas y su manejo adecuado puede minimizar o evitar estas limitantes. En otros casos, los beneficios comerciales de los árboles pueden compensar por las pérdidas en el rendimiento de los cultivos (Martínez et ál. 2017).

Los árboles de sombra tienen un gran potencial para la diversificación y estabilidad de la producción, así como para la conservación de agua, suelo y biodiversidad (Muschler 2016; 2001a). Además, los árboles pueden capturar grandes cantidades de carbono y sus aportes de sombra y nutrientes permiten reducir el uso de fertilizantes y herbicidas, reduciendo la emisión de gases efecto invernadero (GEI) como una contribución a la mitigación del cambio climático. El Cuadro 2 presenta los cobeneficios principales de implementar la práctica de árboles de sombra desde la dimensión socioeconómica y en la dimensión ambiental.

**Cuadro 2.** Cobeneficios esperados con el uso de árboles de sombra.

Socioeconómicos	Nivel o grado*	Ambientales	Nivel o grado*
Diversificación de la producción	2-3	Conservación de agua	2
Estabilidad en la producción	2-3	Conservación de biodiversidad	2-3
Empleo	1	Conservación de suelo	2
Seguridad alimentaria	2	Reducción de GEI	2
Ingreso	2	Captura de carbono	2

\*Nivel de beneficios: 1=bajo, 2=medio, 3=alto

## ¿QUÉ OTROS BENEFICIOS Y COBENEFICIOS APORTA ESTA PRÁCTICA?

Vamos a presentar tres casos de éxito para ilustrar la importancia potencial de utilizar árboles de sombra en sistemas con café.

El primer ejemplo viene de Turrialba, Costa Rica, una zona relativamente baja (700 msnm) y estresante para *Coffea arabica* por las altas temperaturas que aumentan el estrés hídrico, desencadenando bajo rendimiento y menor calidad. Claramente, la presencia de los árboles y sus servicios ambientales son determinantes para aliviar este estrés. En este ambiente subóptimo para café, la sombra intermedia (40 a 60% de sombra) de árboles leguminosos no solamente permite mantener una producción alta de café, sino que mejora su calidad (Muschler 2001b) al producir materia orgánica para el suelo,

fijar nitrógeno atmosférico y suprimir las malezas a tal punto que se obvia la necesidad de utilizar herbicidas (Muschler 2001a).

El segundo caso demuestra la importancia de árboles leguminosos para contribuir nitrógeno al cultivo. En este experimento a largo plazo (10 años), conducido por el Instituto de Café (ICAFFE) de Costa Rica, se determinó que la contribución de nitrógeno por los árboles podados regularmente permitió sostener una alta productividad cuando no se utilizaban fertilizantes nitrogenados (Ramírez 1993; Muschler 2001a).

El tercer caso viene de otro experimento a largo plazo en el CATIE (Figura 2) en el cual se estudian los efectos de 20 sistemas de café que difieren por las especies de sombra y por los tipos de insumos, incluyendo insumos sintéticos y orgánicos. Este estudio ha permitido documentar los beneficios a largo plazo de incluir árboles en el sistema, tanto para la productividad de café, para la salud del suelo y para indicadores importantes de salud del ecosistema como la presencia de aves, lombrices y otros animales.

Estos tres ejemplos de la caficultura en Centroamérica tienen gran relevancia también para muchos otros cultivos y para otras zonas del Caribe y Suramérica. De hecho, en muchas partes de Suramérica se han podido reducir los efectos negativos de los “vientos sureños” al incorporar árboles como individuos dispersos o en franjas para proteger a los cultivos y animales.



**Figura 2.** A la izquierda imágenes de un experimento comparativo de sistemas de café en el CATIE y una torre para el monitoreo y la cuantificación de flujos de gases de efecto invernadero en Aquiares, Costa Rica, un esfuerzo colaborativo entre el CIRAD y el CATIE. Derecha: cafetales con bananos, laurel y poró para estudiar la compatibilidad entre árboles y café, Costa Rica. Para más información consulte [www.catie.ac.cr](http://www.catie.ac.cr). (Fotos cortesía de Reinhold Muschler).

Este tipo de información es cada vez de mayor relevancia para diseñar sistemas agrícolas de tal forma que sean sostenibles a largo plazo, particularmente cuando consideramos que fertilizantes y plaguicidas sintéticos van a ser más y más caros en el futuro. Sin duda, el uso de árboles de sombra representa una herramienta central en nuestros esfuerzos de adaptación y mitigación del cambio climático.

## REFERENCIAS

IICA 2016. Establecimiento y uso de sistemas silvopastoriles en República Dominicana. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, Costa Rica. <http://www.iica.int/sites/default/files/publications/files/2017/BVE17068935e.pdf>

Geilfus F (1994) El Árbol al servicio del agricultor. Manual de Agroforestería para el Desarrollo Rural. ENDA CARIBE - CATIE, Turrialba

Martínez-Rodríguez MR, Viguera B, Donatti CI, Harvey CA, Alpizar F. 2017. Cómo enfrentar el cambio climático desde la agricultura: prácticas de adaptación basadas en ecosistemas (AbE) 1ed. Turrialba, Costa Rica. 41 p. (Módulo 4).

Muschler RG, 2016. Agroforestry: essential for climate-smart landuse? Pp. 2013-2116 In: Pancel L, Köhl M (eds.). Tropical Forestry Handbook, 2nd ed. Springer. 4 Volumes. 3633 pp. DOI 10.1007/978-3-642-41554-8\_300-1

Muschler RG (2001a) Árboles en Cafetales. Módulo de Enseñanza Agroforestal. CATIE, Costa Rica. Proyecto Agroforestal CATIE/GTZ. 137 p

Muschler RG (2001b) Shade improves coffee quality in a sub-optimal coffee zone of Costa Rica. *Agroforest Syst* 51:131-139

Ramírez LG 1993. Producción de café (*Coffea arabica*) bajo diferentes niveles de fertilización con y sin sombra de *Erythrina poeppigiana* (Walpers) O.F. Cook. Pp 121-24 In: Westley SB and Powell MH (eds.) *Erythrina in the New and Old Worlds*. Paia, Hawaii: Nitrogen Fixing Tree Association

Somarriba, E. 2004. ¿Cómo evaluar y mejorar el dosel de sombra en cacaotales? *Agroforestería en las Américas* 41:122-130.

Villarreyna, R.; Cerda, R.; Echeverría, J.; Lizarazo, M.; Aguilar, A.; Barrios, M.; Taleno, S.; Olivas, A.; Matus, O.; Toruño, I.; Mercado, L. 2017. Priorización de inversiones en Agricultura Climáticamente Inteligente (ACI): prácticas agropecuarias de huertos caseros, granos básicos, sistemas agroforestales y pasturas priorizadas en el territorio NicaCentral (en proceso de publicación). Turrialba, Costa Rica. CATIE. 72 p.

### FICHA TÉCNICA: Ambientes protegidos<sup>46</sup>



46. Invernaderos pequeños para producir en ambientes protegidos. El uso de madera, bambú y otros materiales locales permiten minimizar los costos para la inversión. Fotos de izquierda a derecha. 1.2. ¿Cómo hacer un invernadero casero paso a paso? La Hiertina de Toni Jardón, Noviembre, 2016. 3. Huertos salvadoreños abren una salida de la pobreza, Tomás Andréu, Inter Press Service, 2017.

## ¿QUÉ SON LOS AMBIENTES PROTEGIDOS?

El uso de ambientes protegidos posibilita la producción de hortalizas en climas adversos y facilitan el control de plagas y enfermedades, permite aumentar la producción, obtener productos de mejor calidad, así como adelantar (primicia) y atrasar (tardicia) la cosecha.

## ¿CUÁLES SON SUS BENEFICIOS?



## ¿EN CUÁLES ZONAS AGROECOLÓGICAS Y AGROECOSISTEMAS TIENEN MAYOR POTENCIAL DE APLICACIÓN?

La producción en ambientes protegidos se recomienda sobre todo para zonas donde las condiciones climáticas son adversas (FAO 2002). Los mayores beneficios se generan en zonas frías/frescas, en zonas expuestas a vientos y en zonas húmedas donde hay que proteger los cultivos de temperaturas bajas, de vientos o de un exceso de lluvia. Se recomienda particularmente para cultivos susceptibles y de alto valor como tomates, chile dulce o fresas ya que los ingresos de estos cultivos permiten recuperar la inversión en corto o mediano plazo. Una condición esencial, particularmente en zonas calientes con alta radiación solar, es de asegurar una ventilación adecuada (doble techo en el centro, ventilación cruzada, ventiladores etc.) para evitar temperaturas excesivas, una de las limitantes principales para la producción en ambientes protegidos.

## ¿CÓMO CONTRIBUYE A REDUCIR LA VULNERABILIDAD AL CAMBIO CLIMÁTICO?

La infraestructura para el cultivo protegido (techo, bandas plásticas, paredes, mallas etc.) permite controlar las variables ambientales temperatura, humedad, viento, radiación solar y, en invernaderos cerrados, también la concentración de CO<sub>2</sub>. Este control permite optimizar el uso del agua, fertilizantes y de otros insumos para el control de plagas y enfermedades. Además, esta infraestructura reduce el impacto de eventos extremos de lluvias, sequía o vientos, reduciendo así la vulnerabilidad de los cultivos. Con buen diseño de la infraestructura y cuando el sistema de siembras está basado en principios agroecológicos (como el asocio de cultivos, la rotación, policultivos, mantenimiento de la fertilidad del suelo, etc.), el cultivo protegido permite reducir las aplicaciones de fertilizantes y plaguicidas químicos al aumentar la fertilidad del suelo y potenciar el uso de control biológico (Castilla 2004; Gliessman 2015).

## ¿CÓMO SE ESTABLECEN?

**Diseño:** hay una gran diversidad de formas para crear ambientes protegidos. Estas formas van desde diseños muy sencillos y baratos con postes vivos o muertos para sostener alambres y amarres para bandas de plástico o mallas de sombra hasta diseños complejos y caros de invernaderos cerrados con equipos de climatización y sistemas automatizados de riego y fertilización. Las características más importantes de estas estructuras son su funcionalidad y su resistencia a los factores ambientales.

**Materiales:** los materiales más utilizados incluyen madera, bambú, postes vivos de plantas como dracena, hasta postes de hierro galvanizado o de aluminio. La ventaja de la madera y el bambú son que son menos costosos y que son materiales renovables, pero lastimosamente tienen una menor duración, muchas veces de menos de 5 a 10 años), sobre todo cuando no son tratados con preservantes. El tratamiento de la madera extiende su vida útil, pero, a largo plazo, causa un impacto ambiental negativo por los residuos contaminantes de los metales pesados que son los más utilizados para tratar madera (muchas veces una mezcla de cobre, mercurio, arseniato y plomo). En contraste, el hierro pintado, el hierro galvanizado y el aluminio son materiales mucho más duraderos con una vida útil de décadas, lo cual puede compensar por el mayor costo inicial. Lo mismo aplica a los tipos de plástico a utilizar que varían desde materiales relativamente baratos, delgados y menos resistentes que se usan para bandas protectoras e invernaderos pequeños hasta plásticos caros, pero más gruesos y resistentes a la radiación ultravioleta, las cuales se emplean para invernaderos grandes y permanentes.

**Sustrato:** para el pequeño productor, el sustrato más utilizado es el mismo suelo del invernadero. Para lograr los mejores resultados, el suelo se enriquece con materia orgánica como composta o abonos verdes y con microorganismos benéficos como rhizobia y micorriza para mejorar la nutrición de los cultivos. Además, se pueden agregar microorganismos como el hongo *Trichoderma* que pueden suprimir enfermedades y otros para suprimir el desarrollo de nematodos. Para sistemas especializados como hidroponía (Gil-Vázquez et al. 2003) o cultivos de muy alto valor también se pueden emplear sustratos especiales.

**Sistemas de riego:** dependiendo del tipo de cultivo y las condiciones económicas del agricultor se pueden utilizar diversos tipos de riego, incluyendo riego por goteo (Figura 1), por aspersion, por microaspersion, por nebulización o, cuando el consumo de agua no es una limitante fuerte, el riego por surcos. Considerando que, a causa de un sobreuso de agua y por el impacto de cambio climático, en la mayoría de las zonas agrícolas se proyecta un déficit cada vez más grave de agua para riego, se recomienda de ampliar la adopción de los sistemas de riego por goteo (Figura 1) que son los más eficientes porque minimizan pérdidas de agua por infiltración y evaporación.

**Prácticas culturales:** aparte de las prácticas culturales típicas para cualquier cultivo (preparación de suelo, aplicación de fertilizantes y compostas, aumento de la supresividad del suelo, aporque, deshierbe etc.), la producción en ambientes protegidos requiere de suma atención a podas sanitarias para eliminar aquellas partes de plantas infectadas lo más pronto posible. En invernaderos cerrados, la propagación de hongos patógenos es particularmente rápida requiriendo, en el caso ideal, una atención diaria, sobre todo a podas sanitarias.

**Cultivos:** dependiendo de la inversión, es de vital importancia escoger especies y variedades de alto valor, altos rendimientos y que sean precoz para generar ingresos lo más rápido posible. Para minimizar problemas con plagas y enfermedades, se debería dar prioridad a cultivos que sean lo menos susceptible a estos organismos. También es fundamental de implementar las prácticas agroecológicas de asociar cultivos de diferentes colores, olores y de diferentes exigencias nutricionales y de rotar entre cultivos que no comparten las mismas plagas y enfermedades (Jeavons 2006; Gliessman 2015; Figura 1).



**Figura 1.** Producción de más de 25 cultivos mezclados según principios agroecológicos en un invernadero para la producción orgánica de vegetales en Finca Rinconcito Orgánico Integral, Tierra Blanca de Cartago, Costa Rica. El intercalado y la rotación de cultivos previenen el desarrollo de epidemias de plagas y enfermedades (Fotos cortesía: Reinhold Muschler).

**Germinación y trasplante:** con el fin de asegurar una buena germinación y un buen desarrollo de las plántulas usando un mínimo de agua para regarlas, se sugiere el uso de charolas de polietileno para posteriormente hacer el trasplante (Jeavons 2006; Martínez et ál. 2012). La práctica del trasplante permite reducir el consumo de agua sustancialmente porque se riegan solamente las bandejas de germinación y luego los puntos de siembra en vez de regar la superficie de una cama entera.

### ¿CUÁLES SON LOS REQUERIMIENTOS PARA SU IMPLEMENTACIÓN?

Los requerimientos son generalmente altos para el establecimiento de estructuras de protección, pero bajos para su mantenimiento (Cuadro 1).

**Cuadro 1.** Requerimientos para el establecimiento y mantenimiento de ambientes protegidos.

Requerimiento	Establecimiento*	Mantenimiento*
Mano de obra	3	1
Inversión o capital	2-3	1-2
Infraestructura	3	1
Maquinaria	2	1
Insumos biológicos	1	1

\*Nivel de costo: 1=bajo, 2=medio, 3=alto

### ¿QUÉ OTROS BENEFICIOS Y COBENEFICIOS APORTA ESTA PRÁCTICA?

#### Beneficios esperados en la producción agrícola

Aparte de lograr altas productividades de productos de calidad superior, la producción en ambientes protegidos permite generar también beneficios ambientales al reducir las necesidades de pesticidas y el consumo de agua por kg de producto (Cuadro 2) y al generar un serie de cobeneficios (Cuadro 3).

**Cuadro 2.** Beneficios ambientales de la producción en ambientes protegidos versus la producción en campo abierto.

Cultivo en campo abierto	Cultivo en ambientes protegidos
<p><b>Uso de pesticidas.</b> La aplicación desmedida de pesticidas reduce sustancialmente la biodiversidad de insectos benéficos que ayudan a polinizar y que son enemigos naturales de plagas. Lo mismo aplica a la aplicación de fungicidas. Los residuos de los pesticidas afectan a los ecosistemas a nivel de paisaje.</p>	<p>La aplicación de pesticidas se hace solamente después de un diagnóstico de plagas y las aplicaciones son más focalizadas. Estas medidas permiten reducir la aplicación de pesticidas en más de un 50%. Además, se facilita la aplicación de biocontroladores de plagas (para más información ver el “Manual de Manejo de Plagas” en <a href="http://www.pumerural.org/organico">www.pumerural.org/organico</a>) lo cual contribuye a mantener la diversidad de insectos benéficos. De todos los insectos, la minoría son plagas, el resto son insectos benéficos, parasitoides e insectos polinizadores, como las abejas y mariposas.</p>
<p><b>Consumo de agua.</b> Para regar una hectárea a campo abierto se necesitan unos 25 000 litros de agua sin tratar; generando un alto impacto sobre el recurso agua.</p>	<p>En ambientes protegidos, las necesidades de agua requerida se reducen sustancialmente en al menos un 33%. Con sistemas de riego por goteo el ahorro puede ser aún más grande.</p>

**Fuente:** modificado del Programa Pequeñas y Medianas Empresas Rurales de Honduras.

**Cuadro 3.** Cobeneficios esperados con el uso de ambientes protegidos.

Socioeconómicos	Nivel o grado*	Ambientales	Nivel o grado*
Diversificación de la producción	3	Conservación de agua	3
Estabilidad en la producción	3	Conservación de Biodiversidad	2
Empleo	3	Conservación de suelo	3
Seguridad alimentaria	3	Reducción de gases de efecto invernadero (GEI)	2
Ingreso	2 a 3	Captura de carbono	2

\*Nivel de beneficios: 1=bajo, 2=medio, 3=alto

**CASOS DE ÉXITO**

En Costa Rica existen muchas experiencias positivas de producción de hortalizas en invernadero por parte de agricultores y grupos organizados. Según los productores, la producción en ambientes protegidos ofrece un gran potencial como opción sostenible de producir hortalizas con una menor dependencia de agroquímicos y con menor uso de agua por unidad producida (Ramírez y Nienhuis 2012). La protección del cultivo de lluvias y vientos fuertes, dos eventos más probables bajo cambio climático, permite mejorar la productividad hasta un múltiple de la producción en campo abierto (Cuadro 4). Sin embargo, para optimizar los sistemas aún más se requiere de mucha investigación, sobre todo en los temas de mezclas y rotación de cultivos en el mismo invernadero, asociados con abonos verdes, el uso de trampas y el manejo de la supresividad del suelo a enfermedades.

**Cuadro 4.** Productividad comparativa de diferentes hortalizas cultivadas a campo abierto y en invernaderos en Costa Rica.

Cultivo	Producción a campo abierto	Producción en invernadero	Referencia de productores
Tomate	5 kg/m <sup>2</sup>	9,6 kg/m <sup>2</sup>	Tomatico S.A. (2007) Segura et ál. (1999)
Chile dulce	20 frutos/planta	50 frutos/planta 43 frutos/planta	Alfaro, R (2008) Asoc. Mujeres Activas (2008) Campos, M. (2008)
Melón	1,5 kg /planta	2,5 kg/planta	La cosecha S.A. (2007) Ramirez, C. (2006)
Chile jalapeño	1,5 kg/planta	5 kg/planta	Asoc. Hort. San Blas (2007) Asoc. Hort. San Blas (2007)

**Fuente:** modificado del Programa Pequeñas y Medianas Empresas Rurales de Honduras.

## REFERENCIAS

- Castilla N 2004. Invernaderos de Plástico - Tecnología y Manejo. Mundi Prensa, España, 457 pag.
- FAO 2002. El Cultivo Protegido en Clima Mediterráneo. Roma, Italia. pág. 27.
- Gil-Vázquez I, Sánchez del Castillo F, Miranda-Velázquez I 2003. Producción de jitomate en hidroponía bajo invernadero. Serie de publicaciones Agribot, Chapingo, México. 90 pp.
- Gliessman S 2015. Agroecology. The Ecology of Sustainable Food Systems. 3rd Ed. CRC Press. 371 pag.
- Jeavons J 2006. How to grow more vegetables (and fruits, nuts, berries, grains, and other crops) than you ever thought posible on less land than you can imagine. 7th ed. Ten Speed Press, Berkeley. 268 pp.
- Martínez, C, Soza F, Garay E 2012. Manual de Establecimiento de Cultivos. Programa de Manejo Integrado de Plagas en América Central. Carrera de Ciencia y Producción Agropecuaria. Escuela Agrícola Panamericana, El Zamorano, Honduras.
- PYMERURAL 2013. Agricultura Protegida. Programa Pequeña y Mediana Empresa Rural. Tegucigalpa, Honduras. ([www.pym rural.org/agriculturaprotegida](http://www.pym rural.org/agriculturaprotegida) ).
- Ramírez C, Nienhuis J (2012). Cultivo protegido de hortalizas en Costa Rica. Tecnología en Marcha 25



# INNOVACIÓN: DIVERSIDAD GENÉTICA

- Agrobiodiversidad y bancos de semillas
- Cambio de especie o variedad
- Conservación y uso de especies forrajeras con mayor potencial de adaptación a la sequía, encharcamiento o heladas
- Conservación y uso de razas animales adaptadas al trópico

## FICHA TÉCNICA: Agrobiodiversidad y bancos de semillas<sup>47</sup>



### ¿QUÉ ES Y POR QUÉ ES IMPORTANTE LA “AGROBIODIVERSIDAD”?

El diseño de agroecosistemas sostenibles debe ser guiado por principios agroecológicos (FAO 2017; Gliessman 2015). Un pilar central es el uso de la mayor agrobiodiversidad posible, tanto en el sistema como en el pool genético de los individuos de cada cultivo (ver fotos arriba y Fig 1), para aumentar su resiliencia a cambios drásticos por el cambio climático. El caso contrario son los sistemas convencionales de monocultivo de banano, café, caña, piña y granos básicos, entre otros, para los cuales la base genética muy estrecha de sus individuos hace que estos sean sumamente susceptibles a plagas, enfermedades y a cambios ambientales. Las epidemias recientes de la roya en café o de la sigatoka en bananos y de enfermedades cada vez más agresivas en monocultivos comprueban que es un problema real.



**Figura 1 A.** La agrobiodiversidad incluye a una gama amplia de organismos efectivos para el control de plagas y enfermedades en la agricultura. Fotos arriba: 1. Controladores biológicos de insectos; 2. Y 3. el hongo *Beauveria bassiana* muy utilizado para el control de artrópodos y larvas de lepidópteros.

47. La agrobiodiversidad es la fuente de variabilidad genética para el fitomejoramiento de cultivos adaptados al cambio climático y para aumentar la resiliencia de sistemas agrícolas. Fotos de izquierda a derecha: 1. Colección de frutas tropicales (cortesía Reinhold Muschler); 2. Semillas de leguminosas y 3. La diversidad de frutos incluye a muchas especies subutilizadas que ofrecen un gran potencial para la diversificación productiva del futuro (cortesía de Antonio Mora).



**Figura 1 B:** las mariquitas depredan áfidos y muchas especies de avispas controlan insectos y larvas al depositar sus huevos en o encima de las larvas de diversas plagas (Fuente de fotos: Internet Commons y Universidad de Nebraska).

### ¿CUÁLES SON SUS BENEFICIOS?



### ¿EN CUÁLES ZONAS AGROECOLÓGICAS Y AGROECOSISTEMAS TIENEN MAYOR POTENCIAL DE APLICACIÓN?

La conservación de la agrobiodiversidad es de importancia universal para todas las zonas agroecológicas, porque la agrobiodiversidad es (1) esencial para la provisión de servicios ambientales (Cardinale et al. 2012) y (2) es la fuente de la diversidad genética necesaria para el fitomejoramiento, el cual permite seleccionar y/o generar variedades o cruces nuevos de cultivos, frutales y animales adaptados a nuevas condiciones ambientales (FAO 2017; FAO 2010). Estas condiciones ambientales incluyen aspectos bióticos como nuevas plagas o enfermedades de cultivos agrícolas, así como aspectos ábóticos como suelos empobrecidos o temperaturas, lluvias o sequías extremas a causa del cambio climático. Adicionalmente, la agrobiodiversidad incluye a insectos benéficos que polinizan cultivos o controlan plagas, así como microorganismos benéficos como hongos entomopatógenos, hongos micorrízicos o bacterias fijadoras de nitrógeno atmosférico (ver Ficha técnica “Microorganismos benéficos”). Por ende, es de suma importancia de conservar la mayor diversidad genética de organismos relevantes para la producción agrícola sostenible. La presente ficha técnica se enfoca en la conservación de semillas de cultivos anuales y perennes.

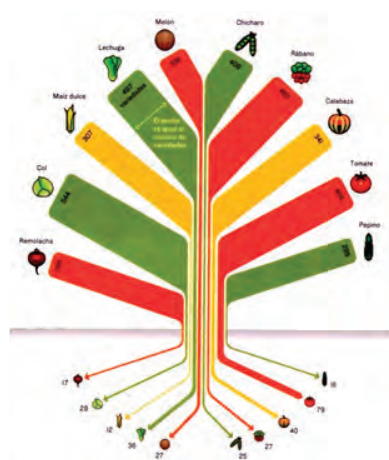
### ¿CÓMO CONTRIBUYE A REDUCIR LA VULNERABILIDAD AL CAMBIO CLIMÁTICO?

El cambio climático causa un aumento de vientos fuertes, épocas secas más marcadas y lluvias de mayor intensidad, condiciones que no solo aumentan el estrés ambiental para los cultivos, sino que también pueden favorecer una mayor incidencia de plagas y enfermedades. La adaptación a estos extremos climáticos y al estrés biótico requiere: 1) que los sistemas agrícolas del futuro cuenten con cultivos más adaptados y resistentes, 2) que los agroecosistemas estén más diversificados y 3) que cuenten con un diseño agroecológico que permita combinar una alta productividad con una

protección ambiental efectiva (Muschler 2016). Agroecosistemas diversificados, preferiblemente con cultivos y árboles adaptados, tienen una mayor capacidad de resistir a temperaturas extremas, a sequías, inundaciones y vientos y a retener suelos y humedad (Nicholls-Estrada et ál. 2013). Componentes centrales para lograr estos fines son el asocio de cultivos adaptados compatibles y su integración adecuada con plantas perennes como proveedores de servicios ambientales. Estas últimas, al poseer raíces a diferentes profundidades, no solamente proveen materia orgánica esencial para los organismos del suelo, sino que también fomentan la conservación de la fertilidad de suelos y su capacidad de retener nutrientes y agua (Jefferey et al. 2010). Adicionalmente, las copas de cultivos perennes o árboles (ver Fichas Técnicas “Rompevientos” y “Agroforestería para proteger rios, lagos y lagunas”) reducen el impacto de lluvias torrenciales y vientos fuertes tanto en cultivos como en infraestructuras como bandas de plástico o invernaderos.

### ¿CÓMO SABER QUÉ CONSERVAR?

Los criterios para priorizar cuáles especies conservar incluyen: productividad, valor nutricional, resistencia o tolerancia a plagas y enfermedades y la adaptabilidad de los cultivos y árboles a diferentes condiciones ambientales. Hoy día, la selección de las especies agrícolas o arbóreas más apropiadas para una determinada zona agroecológica se puede apoyar en bases de datos digitales con información detallada sobre miles de especies. Una herramienta poderosa es “The Agroforestry Species Switchboard” (Kindt et ál. 2017), la cual da acceso a una gama de bases de datos con información botánica y agronómica sobre más de 22 000 especies de cultivos y árboles. Lamentablemente, al mismo tiempo que la información en estas bases de datos está aumentando rápidamente, se están perdiendo especies y variedades de cultivos a gran velocidad, lo cual es sumamente preocupante. A manera de ejemplo, se ha estimado que tan solo en 80 años, se han perdido más del 75% de las variedades comercialmente disponibles de muchos cultivos agrícolas importantes en los Estados Unidos (Figura 2). Esta tendencia se ha repetido también en muchas otras regiones del mundo, y este proceso se ha acelerado por la modificación de los patrones climáticos y por los cambios en los regímenes alimenticios hacia dietas cada vez más uniformes (Khoury et al. 2014).



**Figura 2:** Izquierda: la disponibilidad de variedades ha sido reducida drásticamente durante el último siglo (Fuente: National Geographic Julio 2011 <http://ngm.nationalgeographic.com/2011/07/food-ark/food-variety-graphic>). Foto a la derecha: muestra de la diversidad de tomates en el mundo. Lamentablemente, hoy en día, muy pocas de estas variedades están siendo sembradas y muchas están amenazadas de perderse (Fuente: Internet Commons).

Esta misma tendencia también aplica para árboles como revelado por el siguiente estudio reciente: para 54 especies arbóreas de gran importancia en América Central (24 especies frutales, 24 maderables y seis especies mejoradoras del suelo), de Sousa et al. (2017) estimaron que, hasta el 2050, las áreas adecuadas se reducirán en >10% para 29 especies bajo el escenario de cambio climático RCP 4,5 y para 30 especies bajo RCP 8.5. De estas especies, las 7 que pueden perder hasta >30% del área apta actual son, en orden decreciente: Inga jinicuil, Annona cherimoya, Persea americana, Inga oerstediana, Handroanthus ochraceus, Alvaradoa amorphoides y Psidium guajava. Esto es un impacto sumamente drástico para especies importantes de frutales como el aguacate, la cherimoya y la guayaba. En contraste, hay 11 especies para las cuales se estima un aumento de  $\geq 10\%$ , incluyendo los 4 frutales Avertroa bilimbi, Cocos nucifera, Chrysobalanus icaco y Melicoccus bijugatus y el árbol maderable Albizia saman. Sin duda, este tipo de información es importante para evaluar cuáles especies son más vulnerables o tolerantes al CC con el fin de ayudar con la diversificación productiva de agroecosistemas futuros que sean sostenibles aún bajo CC. Mayores detalles sobre opciones de cambio de especies o variedades se encuentra en una ficha técnica con este mismo nombre.

### ¿CÓMO CONSERVAR LA AGROBIODIVERSIDAD?

Comúnmente, plantas de uso agrícola se conservan por una de las siguientes tres formas ilustradas en la Figura 3:



**Figura 3.** Fotos de izquierda a derecha: a) Visita de fitomejoradores a la colección viva de Sapotaceas y Annonaceas en el campus del CATIE; b) La cámara fría (-17 °C) para el almacenamiento de semillas a largo plazo en el CATIE, Costa Rica; c) Banco comunitario de semillas en la Finca Integral Didáctica Loroco, Costa Rica (Fotos cortesía de CATIE y Reinhold Muschler).

Las tres formas principales de conservación de cultivos son:

**a) En jardines botánicos y colecciones de germoplasma en forma de plantas vivas.** Esta forma de conservación se aplica a un gran número de cultivos con semillas que no pueden ser almacenadas en refrigeración. Este grupo incluye a muchos cultivos perennes y frutales como aguacate, cacao, guayaba, pejobaye (*Bactris gassipaes*), otras palmeras y cultivos en muchas familias como las Annonaceas, Rosaceas, Rutaceas, Sapotaceas y otros (Ebert et ál. 2007). La ventaja de esta forma de conservación es que las plantas pueden evolucionar con cambios ambientales, aunque esta evolución adaptativa es más limitada y lenta para cultivos perennes que para cultivos anuales. Los limitantes de esta forma de conservación incluyen que se requiere de grandes superficies y de fondos sustanciales para su mantenimiento. Como no todas las especies y variedades comparten los mismos requisitos ambientales, siempre hay un número de materiales en una colección dada que no cuentan en las condiciones óptimas (de suelo, clima etc.) para ellos. Por ende, estos materiales

no pueden expresar su potencial en un ambiente subóptimo. Finalmente, las plantas en este tipo de colecciones están expuestas a eventos climáticos extremos y al ataque de plagas y enfermedades que pueden arriesgar su sobrevivencia. Consecuentemente, es de suma importancia que estos materiales se conserven en varios sitios para evitar su pérdida en un evento extremo.

**b) Como semilla congelada (críoconservación). Esta forma permite la conservación a largo plazo de una gran diversidad de cultivos en poco espacio.** Las semillas no ocupan mucho espacio y el congelamiento reduce los procesos fisiológicos a niveles tan bajos que las semillas pueden sobrevivir hasta por décadas. Esta forma de conservación es la más común para los centros internacionales de investigación agrícola del CGIAR. Las limitantes principales son: 1) el alto costo de la infraestructura y de la operación de estas cámaras frías; 2) el hecho que cultivos conservados en forma de semillas congeladas no pueden evolucionar en su adaptabilidad a cambios ambientales o a nuevas plagas y enfermedades, 3) la falta de reproducción de los materiales y 4) el acceso generalmente limitado de productores a los materiales.

**c) En bancos comunitarios como semilla conservada a corto plazo y como planta en el campo** (Figura 3c y Figura 4). Este sistema de conservación es el más ancestral y es usado por millones de agricultores a nivel mundial para la conservación de la mayoría de cultivos y variedades locales. Como resumido por los dichos “Use it or lose it” y “El mejor lugar para toda semilla es el suelo”, este sistema permite conservar semillas a través de su uso permanente y hasta mejorarlas por la selección continua de las plantas más vigorosas. Cuando se coordinan los esfuerzos y capacidades de millones de agricultores, el fitomejoramiento participativo se convierte en un mecanismo sumamente efectivo para conservar y seleccionar materiales adaptadas a los cambios por el CC y otros factores ambientales. Sin embargo, el éxito a largo plazo de esta estrategia esta sujeta a las siguientes limitantes: (1) la inestabilidad social en muchas zonas rurales, (2) el éxodus de agricultores jóvenes que abandonan zonas rurales, así como (3) la falta de un apoyo sistemático por parte de los gobiernos y del sector privado. Dado su gran potencial, esta forma de conservación debería recibir mucho más apoyo en el futuro.

## ¿CÓMO SE ESTABLECEN LOS SISTEMAS DE CONSERVACIÓN DE SEMILLAS?

Los requerimientos son muy variables dependiendo del sistema de conservación de semilla escogido. Los requerimientos más bajos se dan para la conservación de semillas en fincas y en bancos comunitarios, mientras que la conservación en colecciones de campo y en jardines botánicos requiere de inversiones intermedias. Finalmente, la conservación de semillas en cámaras frías tiene los mayores requerimientos de inversión para su construcción y el mantenimiento de la infraestructura y del equipo necesario (Cuadro 1).

**Cuadro 1.** Requerimientos para la implementación

Requerimiento	Establecimiento*	Mantenimiento*
Mano de obra	1-3	1-2
Inversión o capital	1-3	1-2
Infraestructura	1-3	1-2
Maquinaria	1	1
Insumos biológicos	3	2-3

\*Nivel de costo: 1=bajo, 2=medio, 3=alto

## ¿QUÉ OTROS BENEFICIOS Y COBENEFICIOS APORTA ESTA PRÁCTICA?

### Beneficios esperados en la producción agrícola y/o pecuaria

La conservación de la diversidad de variedades de cultivos y árboles es el requisito esencial para programas de fitomejoramiento. Estas variedades, incluyendo los materiales silvestres, sirven como fuentes de genes para seleccionar y desarrollar variedades e híbridos nuevos que combinan niveles elevados de productividad con otros atributos deseados como resistencia a enfermedades, sequía, suelos pobres y otras limitantes biofísicas. Las experiencias con la susceptibilidad extremadamente alta de los monocultivos convencionales al estrés abiótico, así como a las plagas y enfermedades comprueban que los sistemas agrícolas del futuro deben contener una mayor diversidad genética y funcional.

La conservación y el uso de una mayor diversidad de cultivos genera cobeneficios intermedios a altos en la mayoría de las dimensiones (Cuadro 2), sobre todo en los aspectos productivos y en la conservación de los recursos naturales. En todos estos casos, el uso de materiales mejorados permite combinar una mayor productividad con una mayor eficiencia de uso de agua y nutrientes mientras que, al mismo tiempo, se beneficia la biodiversidad local y se pueden reducir algunos insumos externos lo cual permite reducir la liberación de gases de efecto invernadero (GEI).

**Cuadro 2.** Cobeneficios esperados con el uso de las agrobiodiversidad y banco de semillas.

Socioeconómicos	Nivel o grado*	Ambientales	Nivel o grado*
Diversificación de la producción	3	Conservación de agua	2-3
Estabilidad en la producción	2-3	Conservación de Biodiversidad	3
Empleo	1-2	Conservación de suelo	2-3
Seguridad alimentaria	2-3	Reducción de gases de efecto invernadero (GEI)	2-3
Ingreso	2-3	Captura de carbono	2

\*Nivel de costo: 1=bajo, 2=medio, 3=alto

## CASOS DE ÉXITO

Los efectos positivos de la diversificación productiva se pueden notar a nivel de fincas biodiversas donde se minimizan problemas de plagas y enfermedades, al mismo tiempo que se puede aumentar la productividad debido a la complementariedad entre los diferentes cultivos (Figura 4). La Finca Integral Didáctica Loroco en Talamanca, Costa Rica, es un actor regional importante para conservar e intercambiar semillas a nivel local y regional y para promover el consumo de cultivos subutilizados de alta adaptación ambiental y de alto valor nutricional (Figura 5).



**Figura 4.** Sistemas agrícolas con una alta diversidad de cultivos permiten maximizar los efectos benéficos de la asociación y rotación de cultivos. Fotos de izquierda a derecha: a) Cultivos mixtos en la “Finca las Cañadas”, México, b) Asociación de muchos cultivos en la Finca Didáctica Integral Loroco, Costa Rica, c) La mezcla de cultivos de diferentes colores y olores previene o reduce los problemas de plagas y enfermedades. Este es el caso del invernadero para la producción de vegetales orgánicos en la Finca ROI, Costa Rica (Fotos cortesía de Finca Las Cañadas, México y de Reinhold Muschler).



**Figura 5.** La Finca Integral Didáctica Loroco en Talamanca de Costa Rica mantiene un banco comunitario de semillas que se intercambian libremente con agricultores y otras personas interesadas. También se promueve el consumo de cultivos subutilizados que son altamente nutritivos (Fotos cortesía de Reinhold Muschler).

Un segundo caso es la conservación exitosa de la colección de cacao del CATIE en Costa Rica, la cual es una de las más importantes a nivel mundial. Luego de una serie de amenazas durante los últimos 30 años, a veces por falta de presupuesto para mantener la colección, a veces por amenazas fitosanitarias como los hongos *Monilia* y *Rosellinia*, el CATIE logró rescatar los materiales más importantes al establecer dos copias de la colección en dos zonas distintas. Hoy en día, esta colección es la fuente de nuevos híbridos muy promisorios por sus atributos de productividad alta combinada con una calidad sobresaliente y una tolerancia elevada a la *Monilia*. Este ejemplo muestra la importancia crucial de mantener colecciones importantes -aunque costosas- para poder utilizar los materiales para fines de fitomejoramiento posterior. Sin estos materiales genéticos no hubiera sido posible de generar los avances con los nuevos híbridos.

Con el fin de maximizar la diversidad genética y funcional como base para una mayor resiliencia del sistema, agroecosistemas deberían también incorporar sistemas agroforestales como proveedores de servicios ambientales. Estos sistemas integran árboles y arbustos de muchas formas y funciones, incluyendo en forma de rompevientos, corredores biológicos, bancos de proteína para la alimentación animal o en forma de “islas o franjas ecológicas” para fomentar la presencia de polinizadores y de controladores biológicos de plagas y enfermedades (Figura 1; Muschler 2016; Vázquez 2011a y b).

## REFERENCIAS

Cardinale, B., Duffy, J., Gonzalez, A. 2012. Biodiversity loss and its impact on humanity. *Nature* 486:59-67.

de Sousa, K., van Zonneveld, M., Imbach, P., Casanoves, F., Kindt, R., Ordoñez, J.C. 2017. Atlas de aptitud de especies agroforestales claves bajo climas futuros en América Central. ICRAF Artículo Ocasional No. 26. Turrialba, Costa Rica. 40 p.

Ebert, A., Astorga, C., Ebert, I., Mora, A., Umaña, C. 2007. Securing our Future. CATIE's Germplasm Collections. CATIE Rica. Boletín Técnico No 26. CATIE, Turrialba, Costa Rica. 204 p.

FAO 2010 The Second Report on the State of the World's Plant Genetic Resources for Food and Agriculture. <http://www.fao.org/docrep/013/i1500e/i1500e.pdf>

FAO 2017 Agroecología para la Seguridad Alimentaria y Nutrición - Actas del Simposio de 2014. Disponible en línea: <http://www.fao.org/3/a-i4729s.pdf>. Consultado en octubre del 2017. .

Gliessman, S.R. 2015. Agroecology. The Ecology of Sustainable Food Systems. 3rd ed. CRC Press. Boca Raton, USA. 371 p.

Jeffery, S., Gardi, C., Jones, A., Montanarella, L., Marmo, L., Miko, L., Ritz, K., Peres, G., Römbke, J., van der Putten, W.H. (Eds.). 2010. European Atlas of Soil Biodiversity. European Commission, Publications Office of the European Union, Luxembourg. Disponible en: [https://esdac.jrc.ec.europa.eu/Library/Maps/Biodiversity\\_Atlas/Documents/Biodiversity\\_Atlas.pdf](https://esdac.jrc.ec.europa.eu/Library/Maps/Biodiversity_Atlas/Documents/Biodiversity_Atlas.pdf). Consultado en septiembre 2017.

Khoury, C.K., Bjorkman, A.D., Dempewolf, H., Ramirez-Villegas, J., Guarino, L., Jarvis, A., Rieseberg, L.H., Struik, P.C. 2014. Increasing homogeneity in global food supplies and the implications for food security. *Proceedings of the National Academy of Sciences (USA)* 111:4001-4006. Kindt, R., John, I., Ordonez, J., Smith, E., Orwa, C., Mosoti, B., Chege, J., Dawson, I., Harja, D., Kehlenbeck, K., Luedeling, E., Lillesø, J-P.B., Muchugi, A., Munjuga, M., Mwanzia, L., Sinclair, F., Graudal, L., Jamnadass, R. 2017. Agroforestry Species Switchboard: a synthesis of information sources to support tree research and development activities. Version 1.4. World Agroforestry Centre, Nairobi, Kenya. <http://www.worldagroforestry.org/products/switchboard/> Muschler RG, 2016. Agroforestry: essential for climate-smart land use? In: Pancel, L., Köhl, M. (eds.). *Tropical Forestry Handbook*, 2nd ed. Springer, Berlin, Alemania. Pp. 2013-2116.

Nicholls-Estrada, C.I., Rios-Osorio, L.A., Altieri, M.A. (Eds.), 2013. Agroecología y resiliencia socioecológica: adaptándose al cambio climático. Sociedad Científica Latinoamericana de Agroecología (SOCLA), Medellín, Colombia, 207 p.

Vásquez L. 2011a. Supresión de poblaciones de plagas en la finca mediante prácticas agroecológicas. Preguntas y respuestas para facilitar el manejo sostenible de tierras. Instituto de Investigaciones de Sanidad Vegetal. La Habana, Cuba. 234 p.

Vásquez L. 2011b. Manual para la adopción del manejo agroecológico de plagas en fincas de la agricultura suburbana. Instituto de Investigaciones de Sanidad Vegetal. La Habana, Cuba. 234 p.



## FICHA TÉCNICA: Cambio de especies y variedades de cultivos agrícolas<sup>48</sup>



### ¿QUÉ ES EL CAMBIO DE ESPECIE Y LAS VARIEDADES DE CULTIVOS?

El cambio climático y los procesos de degradación ambiental obligan a la humanidad de adaptarse a situaciones cambiantes. Una de las herramientas centrales es el cambio de especies o variedades a sembrar en un lugar dado. Por ejemplo, recientemente se da una sustitución paulatina de zonas de café por otros cultivos más adaptados a temperaturas más altas como, por ejemplo, caña de azúcar o cacao. Y el cultivo de hortalizas requiere la adopción de variedades cada vez más tolerantes a estrés climático y nuevas plagas y enfermedades. Las fotos arriba ilustran una pequeña parte de la diversidad genética y de formas de calabazas y tomates.

### ¿CUÁLES SON LOS BENEFICIOS?



### ¿EN CUÁLES ZONAS AGROECOLÓGICAS Y AGROECOSISTEMAS TIENE MAYOR POTENCIAL DE APLICACIÓN?

El cambio de especies y variedades es una práctica cada vez más importante para enfrentar la presión del cambio climático en todas las zonas agroecológicas, pero sobre todo en aquellas que están sujetas a los mayores cambios. En estos ambientes puede ser necesario sustituir las variedades usadas tradicionalmente anteriormente por materiales nuevos de cultivos y frutales adaptados a las nuevas condiciones de factores bióticos -como nuevas plagas o enfermedades- o, abióticos -como suelos empobrecidos o temperaturas, lluvias o sequías extremas- resultantes del cambio climático (FAO 2017). Por lo tanto, es de suma importancia conservar la mayor diversidad genética posible de cultivos que sirven como fuentes de genes de adaptación y resistencia para generar nuevas variedades de cultivos adaptados (FAO 2010; ver Ficha Técnica “Agrobiodiversidad y bancos de semillas”).

48. Fotos de izquierda a derecha. 1. Diversidad de calabazas. 2. Diversidad de tomate. Fuente: <http://liberterre.fr/gaiagnostic/semillas/ayote2.html> y [https://www.swissinfo.ch/image/28375014/16x9/640/360/3f5c0ad943ab8775341b8f152cda7acd/Rb/2\\_tomatenvielfalt\\_psr-28375018.jpg](https://www.swissinfo.ch/image/28375014/16x9/640/360/3f5c0ad943ab8775341b8f152cda7acd/Rb/2_tomatenvielfalt_psr-28375018.jpg).

## ¿CÓMO CONTRIBUYE A REDUCIR LA VULNERABILIDAD AL CAMBIO CLIMÁTICO?

La adaptación a los extremos climáticos y al estrés biótico causado por el cambio climático requiere que: (1) los sistemas agrícolas del futuro cuenten con cultivos adaptados y resistentes, (2) los agroecosistemas estén más diversificados y (3) que cuenten con un diseño agroecológico que permite combinar una alta productividad con una protección ambiental efectiva (Muschler 2016). El uso de variedades de cultivos con mayor resistencia a factores estresantes como la sequía o suelos pobres, o a plagas y enfermedades cuya incidencia se agrava por el cambio climático, permite aumentar la resiliencia del agroecosistema y reducir las pérdidas causadas por esos factores. Los agroecosistemas diversificados, preferiblemente con cultivos y árboles adaptados, tienen una mayor capacidad de resistir a temperaturas extremas, sequías, inundaciones y vientos, así como a proteger suelos y retener humedad, del mismo modo, permite la diversificación de cultivos para que los productores no dependan exclusivamente de un solo producto en la generación de ingresos.

## ¿CÓMO SE ESTABLECE?

A nivel mundial existe consenso que el diseño de agroecosistemas sostenibles debe ser guiado por principios agroecológicos (FAO 2017; Gliessman 2015), incluyendo la inclusión de la mayor diversidad posible de cultivos y variedades en el sistema (Fotos arriba y Fig 1), ya que una mayor diversidad genética y funcional aumenta la resiliencia del sistema a cambios drásticos producto del cambio climático.



**Figura 1.** Izquierda: un agroecosistema con una alta diversidad de cultivos y variedades permite maximizar los efectos benéficos de la asociación y rotación de cultivos. Centro: la diversidad de variedades de papas ofrece innumerables opciones de materiales adaptados a nuevas condiciones ambientales. Derecha: frutos silvestres del bosque ofrecen opciones para la domesticación de

La sustitución de especies o variedades se puede agrupar a dos niveles:

### (1) A nivel de especies o variedades.

Aunque una gran parte de la diversidad de variedades comerciales de los cultivos se ha perdido en los últimos 50 años (Kimbrell 2002), todavía hay diversidad gracias a que se han conservado varios genotipos por sus atributos agronómicos o culinarios. Mucha de esta diversidad está en manos de campesinos. Para cada situación es importante seleccionar las variedades que mejor

se ajustan a las condiciones locales, para así minimizar los problemas fitosanitarios o fisiológicos. Por ejemplo, para la producción de papa orgánica no se deberían usar las mismas variedades seleccionadas para la producción de papa convencional, porque si bien estas últimas tienden a ser altamente productivos, pero a menudo presentan una extrema susceptibilidad a plagas y enfermedades. En contraste, en sistemas orgánicos donde no se pueden usar productos sintéticos contra plagas y enfermedades, las variedades “mejoradas” no pueden prosperar. Por ende, para un sistema orgánico es preferible utilizar variedades con algún grado de resistencia a plagas y enfermedades. De manera similar, para la producción de lechuga y otros cultivos anuales se recomienda cambiar las variedades según las condiciones de producción; así las variedades aptas para la producción durante la época seca son diferentes a las de la época lluviosa. Este cambio de variedades es particularmente importante para cultivos de ciclo corto en sistemas intensivos de producción como, por ejemplo, la agricultura biointensiva (Jeavons 2014) o en la agricultura urbana y periurbana de Cuba (INIFAT 2011). Según Robinson (2007), un fitomejorador muy respetado, existe una gran urgencia de reenfocar en el desarrollo de variedades más resistentes las cuales permiten combinar una productividad aceptable con niveles superiores de resistencia a estrés biótico y abiótico. Sin duda, los mayores niveles de estrés para cultivos expuestos al CC aumentarán la relevancia de trabajos en esta dirección.

## **(2) A nivel de un rubro de producto deseado.**

A este nivel podemos considerar a los diferentes rubros de productos agrícolas según sus aportes principales como fuente de carbohidratos, almidones, vitaminas, minerales, aceites etc.

Un primer ejemplo es la producción de papa como fuente de almidones y carbohidratos. En la mayoría de las zonas paperas, la producción de papa es responsable para un uso elevado de agroquímicos tóxicos con muchos efectos negativos para el ambiente y la salud. El uso cada vez más intenso de estos agroquímicos,

una tendencia muy preocupante sobre todo en zonas tropicales, corresponde a (1) una alta susceptibilidad de las variedades usadas (ya que, típicamente, fueron seleccionadas únicamente por su alta productividad) y (2) un aumento de estrés abiótico y biótico a causa del CC. Para romper la dependencia de estos químicos se puede sustituir, en muchas zonas tropicales, el cultivo de papa por el cultivo de otras raíces y tubérculos tropicales como cassava (*Manihot esculenta*), malangas o tiquisque (*Xanthosoma* spp.), ñame (*Colocasia esculenta*), camote o boniato (*Ipomoea batata*) y otras especies que producen tubérculos comestibles y nutritivos y que son mucho menos susceptibles a plagas y enfermedades que la papa. También hay que mencionar la posibilidad de utilizar, más y más, también a árboles y palmeras como la fruta de pan, el jaca, el pejibaye y muchos otros como proveedores alternos de almidones y carbohidratos.

Un segundo ejemplo es la sustitución de la espinaca verdadera (*Spinacia oleracea*) por otras plantas que pueden usarse para el mismo fin, o sea la producción de hojas comestibles altas en vitamina A, B, E etc.: ejemplos son la espinaca de Nueva Zelanda, la espinaca de Malabar, la espinaca de Baracoa, también llamada espinaca de Castilla (*Talinum triangulare*), la chaya o Chiquasquil (*Cnidioscolus chayamansa*) y otros. Comparado con la espinaca verdadera, cada una de estas especies ofrece ventajas en productividad o resistencia a factores estresantes.

Finalmente, un tercer ejemplo es el grupo grande de cultivos subutilizados (“NUS” - ver Ficha Técnica “Agrobiodiversidad y bancos de semillas”) que incluyen a plantas como arracache (*Arracacia* spp.), verdolaga, okra y otros que deberían ser considerados para la diversificación futura de los agroecosistemas (Muschler 2016).

Para escoger las especies agrícolas más apropiadas para una determinada zona agroecológica, se debe considerar (Clement 2013):

- La disponibilidad y calidad de los recursos para la producción (p.e., riego, lluvia, fertilidad del suelo).
- El acceso a tecnologías tales como: semillas, fertilizantes, agua, mercadeo, almacenamiento y procesamiento.
- Factores domésticos relacionados que cubren los requerimientos de autosuficiencia de alimentos y forraje, así como capacidad de inversión.
- Factores relacionados con el precio y las demandas de mercado, incluidos precios de entrada y salida, así como políticas de comercio y otras políticas económicas que afectan los precios directa o indirectamente.
- Factores institucionales y de infraestructura relacionados que tienen que ver con el tamaño de la explotación y los temas de tenencia de tierra, investigación, servicios de extensión, sistemas de mercadeo, así como políticas y normativas gubernamentales.

Con el fin de seleccionar las especies agrícolas más apropiadas para una determinada zona agroecológica, se pueden consultar varias bases de datos que proveen información sobre los atributos de miles de especies. Una manera fácil de acceso a esta información es a través de “The Agroforestry Species Switchboard” (Kindt et al. 2017, ver el hipervínculo en las referencias). Con respecto a la identificación de las variedades más adecuadas de cada cultivo se puede obtener información clave de la ONG “Ecology Action” ([www.growbiointensive.org](http://www.growbiointensive.org)) y de los catálogos de proveedores de semillas como “Seeds for Change”, “Seed Savers’ Exchange” y muchos otros. Un buen punto de partida es la recopilación extensa de fuentes de información en Jeavons (2014).

## ¿CUÁLES SON LOS REQUERIMIENTOS PARA SU IMPLEMENTACIÓN?

Los requerimientos son generalmente bajos, excepto cuando no hay disponibilidad de materiales para la siembra. Los requerimientos más altos están vinculados a la conservación y el intercambio de semillas y otros materiales de siembra (Cuadro 1).

**Cuadro 1.** Requerimientos para el cambio de especies y variedades de cultivo.

Requerimiento	Establecimiento*	Mantenimiento*
Mano de obra	1-2	1-2
Inversión o capital	1-2	1-2
Infraestructura	1-2	1-2
Maquinaria	1	1
Insumos biológicos	2-3	2-3

\*Nivel de costo: 1=bajo, 2=medio, 3=alto.

## ¿QUÉ OTROS BENEFICIOS Y COBENEFICIOS APORTA ESTA PRÁCTICA?

### Beneficios esperados en la producción agrícola y/o pecuaria

El uso más amplio de especies y variedades seleccionadas por una mayor productividad o tolerancia a estrés abiótico y biótico mejora la resiliencia del sistema a cambio climático. Muchos de estos cultivos nuevos, o de materiales superiores seleccionados por agricultores, tienen un desarrollo radicular más fuerte lo cual aumenta su eficiencia de uso de agua y nutrientes. La mezcla de diferentes variedades de un cultivo dado y la asociación entre diferentes cultivos fomenta la estabilidad ecológica del ecosistema, reduce su susceptibilidad a plagas, enfermedades o condiciones climáticas extremas, y genera una serie de co-beneficios.

El uso de una mayor diversidad de cultivos y variedades adaptados a estrés abiótico y biótico genera co-beneficios intermedios a altos en la mayoría de las dimensiones, sobre todo en los aspectos productivos y en la conservación de los recursos naturales. En todos estos casos, el uso de materiales mejorados permiten combinar una mayor productividad con una mayor eficiencia de uso de agua y nutrientes. Al mismo tiempo, se beneficia la biodiversidad local y se pueden reducir algunos insumos externos lo cual permite reducir la liberación de GEI (Cuadro 2).

El uso más amplio de especies y variedades seleccionadas por una mayor productividad o tolerancia a estrés abiótico y biótico mejora la resiliencia del sistema a cambio climático. Muchos de estos cultivos nuevos, o de materiales superiores seleccionados por agricultores, tienen un desarrollo radicular más fuerte lo cual aumenta su eficiencia de uso de agua y nutrientes. La mezcla de diferentes variedades de un cultivo dado y la asociación entre diferentes cultivos fomenta la estabilidad ecológica del ecosistema, reduce su susceptibilidad a plagas, enfermedades o condiciones climáticas extremas, y genera una serie de co-beneficios.

El uso de una mayor diversidad de cultivos y variedades adaptados a estrés abiótico y biótico genera co-beneficios intermedios a altos en la mayoría de las dimensiones, sobre todo en los aspectos productivos y en la conservación de los recursos naturales. En todos estos casos, el uso de materiales mejorados permiten combinar una mayor productividad con una mayor eficiencia de uso de agua y nutrientes. Al mismo tiempo, se beneficia la biodiversidad local y se pueden reducir algunos insumos externos lo cual permite reducir la liberación de GEI (Cuadro 2).

**Cuadro 2.** Cobeneficios esperados con el uso de cambio de especies y variedades de cultivos.

Socioeconómicos	Nivel o grado*	Ambientales	Nivel o grado*
Diversificación de la producción	2-3	Conservación de agua	2
Estabilidad en la producción	2-3	Conservación de Biodiversidad	3
Empleo	1-2	Conservación de suelo	2-3
Seguridad alimentaria	2-3	Reducción de GEI	2-3
Ingreso	3	Captura de Carbono	1-2

\*Nivel de costo: 1=bajo, 2=medio, 3=alto.

## CASOS DE ÉXITO

**La Diversificación productiva con cultivos subutilizados.** La “Finca Integral Didáctico Loroco” en el sureste de Costa Rica cultiva una serie de cultivos promisorios para aumentar la resiliencia agroambiental de la finca. Estos cultivos incluyen a la mucuna y a la jícama (*Pachyrrhizus erosus*) como leguminosas fijadoras de nitrógeno que producen materia orgánica para aumentar la fertilidad del suelo. Además la jícama produce una raíz comestible con propiedades interesantes para la salud humana (Fig. 2). Otros cultivos interesantes son el sesamo, la chaya (*Cnidoscolus chayamansa*), la okra (*Abelmoschus esculentus*) y una especie de *Amaranthus* cultivada para usar sus hojas como un tipo de espinaca altamente nutritivo. La finca Loroco estableció un “santuario de semillas” que permite el intercambio de semillas y variedades locales a nivel de la comunidad.



**Figura 2.** Un comida altamente nutritiva con cultivos subutilizados: hojas de *Amaranthus* consumidas como espinaca, una ensalada de tomate con jícama, dos frutos de pejíbave (*Bactris gasipaes*), ayote y una batido de ajonjolí tostado (Cortesía de foto: R Muschler en “Finca Didáctica Integral Loroco”, Talamanca, Costa Rica).

**El segundo caso es la sustitución de café por ganadería, caña de azúcar o cacao.** La crisis de precio de café y las epidemias recientes de broca y roya del café han obligado a muchos productores de café de sembrar plantas resistentes a la roya y de sustituir plantas de café por otros cultivos. La conversión de cafetales a otros cultivos ha iniciado en las regiones cafetaleras más bajas y más húmedas las cuales presentan condiciones muy favorables para el desarrollo de la roya. Dependiendo de la demanda del mercado por otros productos, muchos caficultores en zonas bajas de Costa Rica han convertido a sus cafetales en pasturas para la producción ganadera, o han sembrado caña de azúcar. En otros casos de cafetales a elevaciones bajas se esta sembrando cacao como socio o sustituto del café. Hay una gama de opciones para diversificar cafetales con otros cultivos con el fin de aumentar la rentabilidad económico y la resiliencia agroambiental de estos ecosistemas (Muschler et al. 2006).

## RETOS FUTUROS

Existen varios retos: el primero es la conservación in-situ y ex-situ de especies y variedades silvestres como fuentes genéticas para el fitomejoramiento (ver Ficha Técnica “Agrobiodiversidad y Bancos de Semillas”). El segundo es la generación y selección de nuevos materiales promisorios. En este aspecto hay que considerar también el potencial y los riesgos vinculados a la generación de cultivos transgénicos (Fagan et al. 2014). Y un tercer reto importante para la sustitución de cultivos por plantas aceptablemente productivas y más resistentes y resilientes a plagas, enfermedades y cambios por el CC es la concientización del consumidor. Sin consumo no tiene sentido producir un cierto cultivo o una variedad. Por ende, la promoción de posibles sustituciones en el sistema productivo debe ser acompañada por la educación del consumidor sobre las ventajas de los nuevos cultivos o variedades, incluyendo ventajas para la salud derivadas de la reducción de la carga de agroquímicos así como ventajas para el ambiente y la sostenibilidad de los agroecosistemas (Ebert 2014; Khoury et al. 2014; Keatinge et al. 2010).

## REFERENCIAS

Clement, R. 2013. Tecnologías de Adaptación al Cambio Climático: Sector Agropecuario. Centro Riso de Energía, Clima y Desarrollo Sostenible del PNUMA de la Universidad Técnica de Dinamarca. 240 p

Ebert, A. 2014. Potential of underutilized traditional vegetables and legume crops to contribute to food and nutritional security, income and more sustainable production systems. *Sustainability* 6:319-335. doi:10.3390/su6010319

Fagan, J., Antoniou, M., Robinson, C. 2014. *GMO Myths and Truths - An evidence-based examination of the claims made for the safety and efficacy of genetically modified crops*. 2nd ed. Earth Open Source, UK. 331 p. Disponible en línea: <http://earthopensource.org/earth-open-source-reports/gmo-myths-and-truths-2nd-edition/>.

FAO 2010 *The Second Report on the State of the World's Plant Genetic Resources for Food and Agriculture*. FAO, Roma, Italia. 370 p. Disponible en línea: <http://www.fao.org/docrep/013/i1500e/i1500e.pdf>. Consultado octubre 2017.

FAO 2017 *Agroecología para la Seguridad Alimentaria y Nutrición - Actas del Simposio de 2014*. Disponible en línea: <http://www.fao.org/3/a-i4729s.pdf>. Consultado en octubre del 2017.

Gliessman SR, 2015. *Agroecology. The Ecology of Sustainable Food Systems*. 3rd ed. CRC Press, Boca Ratón, USA. 371 p.

INIFAT (2011) *Manual Técnico para Organopónicos, Huertos Intensivos y Organoponía Semiprotégida*. 7ma edición. Instituto de Investigaciones Fundamentales en Agricultura Tropical (INIFAT), Habana, Cuba. 210 p.

Jeavons, J. 2014. *How to grow more vegetables (and fruits, nuts, berries, grains, and other crops) than you ever thought possible on less land than you can imagine?* 8th ed. Ten Speed Press, Berkeley, USA. 256 p.

Keatinge, J., Waliyar, F., Jamnadas, R.H., Moustafa, A., Andrade, M., Drechsel, P., Hughes, J., Kadirvel, P., Luther, K. 2010-.) *Relearning old lessons for the future of food - by bread alone no longer: diversifying diets with fruit and vegetables*. *Crop Science* 50:51-62

Khoury, C.K., Bjorkman, A.D., Dempewolf, H., Ramirez-Villegas, J., Guarino, L., Jarvis, A, Rieseberg, L.H., Struik, P.C. 2014. Increasing homogeneity in global food supplies and the implications for food security. *Proceedings of the National Academy of Sciences (USA)* 111:4001-4006.

Kimbrell A (ed.) 2002. *Fatal Harvest. The Tragedy of Industrial Agriculture*. Island Press, Washington DC. USA. 384 p.

Kindt, R., John, I., Ordonez, J., Smith, E., Orwa, C., Mosoti, B., Chege, J., Dawson, I, Harja, D., Kehlenbeck, K., Luedeling, E., Lillesø, J-P.B., Muchugi, A., Munjuga, M., Mwanzia, L., Sinclair, F., Graudal, L., Jamnadass, R. 2017. *Agroforestry Species Switchboard: a synthesis of information sources to support tree research and development activities*. Version 1.4. World Agroforestry Centre, Nairobi, Kenya. <http://www.worldagroforestry.org/products/switchboard/>

Muschler RG, 2016. Agroforestry: essential for climate-smart landuse? In: Pancel, L., Köhl, M. (eds.). Tropical Forestry Handbook, 2nd ed. Springer, Berlin, Alemania. Pp. 2013-2116

Muschler, R.G., Yépez, C., Rodríguez, A., Peters, W., Pohlen, H.A.J. 2006. Manejo y valoración de la biodiversidad en cafetales. In: Pohlen J, Soto L, Barrera J (eds.) El Cafetal del Futuro. Realidades y Visiones. ECOSUR, Chiapas, México. Shaker: Aachen, Alemania. Pp. 333-360.

Robinson, R. 2007. Return to Resistance. 3rd ed. Sharebooks Publisher, Selwyn, Canada. 537 p.

## FICHA TÉCNICA: Conservación y uso de especies forrajeras con mayor potencial de adaptación a la sequía, encharcamiento o heladas<sup>49</sup>



### ¿QUÉ ES LA CONSERVACIÓN Y USO DE ESPECIES FORRAJERAS?

Una manera de reducir el impacto negativo de la baja disponibilidad de pastos por sequía o inundación es mediante prácticas de conservación y uso de la biodiversidad existente entre las especies forrajeras de zonas tropicales y templadas. Las cuales son gramíneas o leguminosas cosechadas para ser suministradas como alimento a los animales, sea verde, seco o procesada (heno, ensilaje, rastrojo).

### ¿CUÁLES SON SUS BENEFICIOS?



### ¿CUÁLES ZONAS AGROECOLÓGICAS Y AGROECOSISTEMAS TIENEN MAYOR POTENCIAL DE APLICACIÓN?

En todas las zonas de América Latina y el Caribe donde se presenta un período de sequía marcado.

49. Fotos de izquierda a derecha. 1. Especies forrajeras adaptadas al cambio climático. 2. pastura de *Brachiaria brizantha* en Petén, Guatemala. A la derecha, siembra de híbridos de sorgo para forraje con mayor tolerancia a la sequía en Guanacaste, Costa Rica. (Fotos cortesía de Danilo Pezo).



## ¿CÓMO CONTRIBUYE A REDUCIR LA VULNERABILIDAD AL CAMBIO CLIMÁTICO?

Si los productores enfrentan el acortamiento del período de crecimiento por reducción de la estación lluviosa, el tener especies/variedades de pastos seleccionadas por su mayor tolerancia a la sequía, debido a que pueden hacer un uso más eficiente del agua disponible, permite reducir la vulnerabilidad a la presentación temprana o al alargamiento del déficit de humedad. Esto se traduce en que estas logren mantener hojas verdes por más tiempo una vez que se inicia el período seco. Y como estas son las que presentan mayor calidad nutritiva y son seleccionadas preferentemente por el ganado en pastoreo; entonces el disponer de estos forrajes contribuye a mejorar el comportamiento productivo y reproductivo de los animales, reduciendo las pérdidas de peso de los animales durante el período seco. En el caso de los problemas de exceso de humedad, la tolerancia a ese estrés es fundamental para asegurar que las especies persistan en las pasturas que se inundan por varios días; es más, hay especies que crecen bajo condiciones de inundación prolongada como la que se presenta en las sabanas inundables de Venezuela y en el Pantanal de Brasil. En las zonas alto-andinas otro problema asociado al cambio climático es la presentación de condiciones extremas de baja temperatura en ciertas épocas del año (“frijajes”), para contrarrestar esos problemas hay que buscar especies y variedades de pastos tolerantes a las heladas.

## ¿CÓMO SE ESTABLECE?

La decisión de qué especies o variedades de pastos sembrar debe estar basado en el conocimiento de las características de las especies forrajeras con relación a su tolerancia a diferentes indicadores de estrés climático, así como de las tendencias en los parámetros climáticos en una zona en particular. Esto es diferente a la práctica común por varias décadas en que la decisión de qué sembrar estuvo muchas veces basada en “modas” o en observaciones de lo que les había trabajado a otros productores, ignorando las restricciones bióticas y abióticas presentes en una finca particular. Una vez que se ha seleccionado la especie o variedad de pasto a sembrar entre los materiales que están disponibles en el mercado o en las instituciones de investigación o asistencia técnica, se procede al establecimiento usando las mejores técnicas que se pueden aplicar en cada situación particular. En algunos casos en que hay incertidumbre sobre el comportamiento potencial de las especies ante situaciones cambiantes, se ha usado la siembra de mezclas de pastos, con diferente capacidad de adaptación.

## ¿CUÁLES SON LOS REQUERIMIENTOS PARA SU IMPLEMENTACIÓN?

El productor preferirá las mejoras que le brinden más beneficios por su inversión. Esta práctica es económicamente viable, a la vez, que permite reforzar las necesidades forrajeras en épocas críticas de invierno y verano (Cuadro 1).

**Cuadro 1.** Requerimientos para la implementación de Conservación y uso de especies forrajeras.

Requerimiento	Establecimiento*	Mantenimiento*
Mano de obra	1 a 2	1
Inversión o capital	1 a 2	1
Infraestructura	N/A***	N/a
Maquinaria	Variable**	Variable**
Insumos biológicos	2	1 a 2

\*Nivel de costo: 1=bajo, 2=medio, 3=alto

\*\*Va a depender de la extensión a sembrar y condiciones de pendiente, entre otros factores

\*\*\* N/A: no aplica

## ¿QUÉ OTROS BENEFICIOS Y COBENEFICIOS APORTA ESTA PRÁCTICA?

El uso de especies o variedades de pastos adaptados a las condiciones extremas de clima (sequía, inundación o heladas) ayuda a mantener la persistencia de las pasturas, y en muchos casos al mejoramiento de la productividad y estabilidad de la producción animal. El Cuadro 2 presenta los cobeneficios principales en la dimensión socioeconómica y en la dimensión ambiental.

**Cuadro 2.** Cobeneficios esperados con la conservación y uso de especies forrajeras.

Socioeconómicos	Nivel o grado*	Ambientales	Nivel o grado*
Diversificación de la producción	1	Conservación de agua	2 a 3
Estabilidad en la producción	2 a 3	Conservación de biodiversidad	2
Empleo	1 a 2	Conservación de suelo	2 a 3
Seguridad alimentaria	2 a 3	Reducción de gases de efecto invernadero (GEI)	2
Ingreso	2 a 3	Captura de carbono	2

\*Nivel de costo: 1=bajo, 2=medio, 3=alto.

## CASOS DE ÉXITO

Si se acepta que el período de lluvias se está acortando como consecuencia del cambio climático, entonces las forrajeras con sistemas radiculares más profundos que poseen mayor tolerancia a sequía, como es el caso de la *B. brizantha* cv. *marandú* y el híbrido caimán, así como varias leguminosas herbáceas y leñosas, tendrán mayor potencial de adaptación. Por otro lado, en respuesta al cambio climático, se está observando en muchos países el reemplazo del maíz por sorgo, tanto para la producción de grano como para forraje, dados los menores requerimientos de agua en este último (Tambo y Abdoulaye, 2012). Asimismo, hay esfuerzos de los investigadores para producir variedades de maíz más tolerantes a la sequía.

Por otro lado, el incremento en temperatura va a favorecer que las gramíneas tropicales que ahora se cultivan en zonas bajas (p.e. *Brachiarias*, *Panicum*) encuentren condiciones para su crecimiento en pisos altitudinales más altos (arriba de los 1800 msnm), y reemplacen especies como el pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum*) que son ahora dominantes. También, las temperaturas más altas van a promover la mayor incidencia de plagas, por lo que germoplasma resistente a plagas tendrá mayor potencial de éxito (White et ál. 2013). En ese sentido, *B. brizantha* cv. *marandú*, y los híbridos mulatos, mulato 2 y caimán tendrán mayores posibilidades de persistir por su resistencia/tolerancia al salvazo o “baba de culebra”. Por otro lado, las lluvias más intensas en períodos cortos acarrearán mayores riesgos de pérdidas de suelos por erosión, por lo que las especies de crecimiento rastrero ayudarán a prevenir la erosión (Pezo 2017). Esto aplica también al asocio de especies de crecimiento rastrero en potreros o áreas de corte con especies de crecimiento erecto. También esas lluvias intensas -en presencia de suelos con drenaje pobre- resultarán en encharcamiento, por

lo que para esas condiciones habrá que considerar pastos tales como la B. humidicola, el híbrido caimán (Rao et ál. 2015) y los pastos tanner, alemán y pará, entre otros.

También, ha habido progreso en la selección de germoplasma forrajero tolerante a las heladas, como es el caso de varias alfalfas dormantes (Kalengamaliro et ál. 2000), y *gramíneas como el triticale* (Liu, et al, 2014), así como en *Cenchrus ciliaris* y otras especies para zonas subtropicales (Clements 1996).

## REFERENCIAS

Clements, R.J. 1996. Pastures for prosperity. 3. The future for new tropical pasture plants. *Tropical Grasslands* 30:31-46.

Kalengamaliro, N.E., Gana, J.A., Cunningham S.M., Volenec, J.J. 2000. Mechanisms regulating differential freezing tolerance of suspension cell cultures derived from contrasting alfalfa genotypes. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture* 61: 143-151.

Liu, W., Maurer H.P., Li, G., Tucker, M.R., Gowda, M., Weissman, E.A. 2014. Genetic architecture of winter hardiness and frost tolerance in triticale. *PLoS ONE* 9(6): e99848. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0099848>

Pezo, D. 2017. Tecnologías forrajeras para la intensificación de los sistemas ganaderos en el contexto del cambio climático. *Revista UTN* 78:18-25

Rao, I. et al. 2015. *LivestockPlus - The sustainable intensification of forage-based agricultural systems to improve livelihoods and ecosystem services in the tropics*. CIAT, Cali, Colombia. CIAT Publicación No. 407. 40 p.

Tambo, J.A.; Abdoulaye, T. 2012. Climate change and agricultural technology adoption: the case of drought tolerant maize in rural Nigeria. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* 17: 277-292.

White, D.S.; Peters, M.; Horne, P. 2013. Global impacts from improved tropical forages: A meta-analysis revealing overlooked benefits and costs, evolving values and new priorities. *Tropical Grasslands - Forrajes Tropicales* 1: 12-24.

## FICHA TÉCNICA: Conservación y uso de razas animales adaptadas al trópico<sup>50</sup>



### ¿QUÉ ES LA CONSERVACIÓN Y USO DE RAZAS DE ANIMALES ADAPTADOS AL TRÓPICO?

La tendencia hacia la especialización en la producción animal, acompañada con el uso de razas especializadas de origen europeo ha traído como consecuencia problemas de adaptación a las condiciones tropicales (Wilson, 2009). Sin embargo, ha habido esfuerzos de productores e instituciones en ALC para conservar, y eventualmente promocionar el uso algunas razas de animales adaptados al trópico, generadas a partir de la selección natural y planeada de animales descendientes de los animales introducidos por los conquistadores en la época colonial (Corrales et al., 2010). También, para las condiciones de clima caliente se valora el uso de los animales cebuinos (*Bos indicus*), puros en el caso de la producción de carne, o en programas de cruzamiento en sistemas de leche, carne y doble propósito, los cuales por su rusticidad ahora toman más relevancia como parte de las estrategias de adaptación al cambio climático. Lo mismo ocurre en el caso de otras especies animales no nativas de LAC, como es el caso de ovejas, cabras y cerdos. Estos animales constituyen la base para programas de cruzamiento.

### ¿CUÁLES SON SUS BENEFICIOS?



### ¿CUÁLES ZONAS AGROECOLÓGICAS Y AGROECOSISTEMAS TIENEN MAYOR POTENCIAL DE APLICACIÓN?

Todas las zonas del trópico, pero mayor potencial en las zonas bajas, donde los problemas de estrés térmico son mayores.

50. Fotos de izquierda a Derecha. Bovinos Criollos de Latinoamérica y el Caribe. 1 Toro Criollo Reyna (Nicaragua). 2. Toro Blanco Orejinegro (Colombia). Fuentes: Amílcar Aguilar (CATIE-Nicaragua) e internet [https://es.images.search.yahoo.com/search/images;\\_ylt=A0LEV2eAcQxaRMoAxQWT.Qt.:\\_ylu=X3oDMTByMjB0aG5zBGNvbG8DYmYxBHBVcwMxBHZ0aWQDBHNIYwNzYw--?p=Ganado+Criollo+Colombia&fr=mcafee#id=88&iurl=https%3A%2F%2Fi.ytimg](https://es.images.search.yahoo.com/search/images;_ylt=A0LEV2eAcQxaRMoAxQWT.Qt.:_ylu=X3oDMTByMjB0aG5zBGNvbG8DYmYxBHBVcwMxBHZ0aWQDBHNIYwNzYw--?p=Ganado+Criollo+Colombia&fr=mcafee#id=88&iurl=https%3A%2F%2Fi.ytimg).

## ¿CÓMO CONTRIBUYE A REDUCIR LA VULNERABILIDAD AL CAMBIO CLIMÁTICO?

Las razas criollas y el ganado cebuino han mostrado mayor adaptación a las condiciones de clima caliente, en el primer caso producto de la selección natural y un esfuerzo de algunos productores para su conservación; en cambio, en el caso de las razas cebuinas, estas provienen de áreas donde se dan condiciones de temperatura ambiente altas, por lo que genéticamente han evolucionado a la adaptación a esas condiciones ambientales, a la utilización de dietas de menor calidad y a enfrentar mayores retos en términos de enfermedades. Para las condiciones del trópico de altura, también se encuentran animales de raza criolla que por un proceso de selección natural han sobrevivido a las condiciones adversas de altitud, baja calidad de los recursos forrajeros, sequías y heladas. Hay especies animales nativas como los camélidos suramericanos que se desarrollan sin mayores problemas bajo esas condiciones ambientales.

## ¿CÓMO SE ESTABLECE?

Las razas criollas y el ganado cebuino han mostrado mayor adaptación a las condiciones de clima caliente, en el primer caso producto de la selección natural y un esfuerzo de algunos productores para su conservación; en cambio, en el caso de las razas cebuinas, estas provienen de áreas donde se dan condiciones de temperatura ambiente altas, por lo que genéticamente han evolucionado a la adaptación a esas condiciones ambientales, a la utilización de dietas de menor calidad y a enfrentar mayores retos en términos de enfermedades. Para las condiciones del trópico de altura, también se encuentran animales de raza criolla que por un proceso de selección natural han sobrevivido a las condiciones adversas de altitud, baja calidad de los recursos forrajeros, sequías y heladas. Hay especies animales nativas como los camélidos suramericanos que se desarrollan sin mayores problemas bajo esas condiciones ambientales.

## ¿CUÁLES SON LOS REQUERIMIENTOS PARA SU IMPLEMENTACIÓN?

Para el mejoramiento del hato ganadero es una alternativa que se requiere una inversión alta, para la compra de animales, embriones, semen, entre otros, lo cual, es una de las principales limitaciones que se tienen los productores pequeños y medianos para tener animales con mejor calidad y que sean adaptados a las zonas de vida en que habitan. En el Cuadro 1 se pueden ver algunos de estos requerimientos y su nivel de costos tanto en la preparación como en la utilización.

**Cuadro 1.** Requerimientos para su implementación.

Requerimiento	Establecimiento*	Mantenimiento*
Mano de obra	2	1
Inversión o capital	2 a 3	1
Infraestructura	N/A**	N/A**
Maquinaria	N/A**	N/A**
Insumos biológicos	2 a 3	1 a 2

\*Nivel de costo: 1=bajo, 2=medio, 3=alto

\*\* N/A: no aplica

## ¿QUÉ OTROS BENEFICIOS Y COBENEFICIOS APORTA ESTA PRÁCTICA?

### Beneficios esperados en la producción agrícola y/o pecuaria.

El uso de genotipos animales adaptados permite que estos expresen su potencial productivo y reproductivo sin mayores problemas bajo las condiciones de aumento de temperatura ambiente y eventualmente la reducción de la disponibilidad de agua; además, son capaces de utilizar eficientemente los recursos alimenticios que se encuentran disponibles.

El Cuadro 2 presenta los cobeneficios principales en la dimensión socioeconómica y en la dimensión ambiental.

**Cuadro 2.** Cobeneficios esperados con el uso y conservación de razas animales adaptadas al trópico.

Socioeconómicos	Nivel o grado*	Ambientales	Nivel o grado*
Diversificación de la producción	1	Conservación de agua	1
Estabilidad en la producción	2 a 3	Conservación de biodiversidad	3
Empleo	1	Conservación de suelo	N/A**
Seguridad alimentaria	1 a 2	Reducción de GEI	2
Ingreso	2 a 3	Captura de carbono	N/A**

\*Nivel de beneficios: 1=bajo, 2=medio, 3=alto

\*\*N/A: no aplica

## CASOS DE ÉXITO

Hay evidencias en América Latina y África (Seo y Mendelsohn 2007) que los productores pequeños tienden a mantener una mayor diversidad en sus hatos y rebaños, no solo de animales producto de cruzamientos tomando como base los criollos y cebuinos en el caso de los trópicos, sino también el poseer una mayor diversidad de especies animales como un mecanismo de control de riesgo, en especial ante eventos catastróficos, reconociendo que hay especies y genotipos de animales más tolerantes a la escasez de agua o con mayor capacidad para utilizar forrajes de menor calidad. Caso típico en las zonas del trópico bajo es el reemplazo de bovinos y ovinos de pelo por caprinos, cuando la escasez de agua es una expresión del cambio climático.

El valor de las razas criollas como parte de las estrategias de adaptación al cambio climático están bien documentados, cuando se considera el comportamiento de las mismas como razas puras o en cruces. Solo a manera de ejemplo, el ganado criollo Carora en Venezuela mostró un mejor comportamiento productivo, reproductivo y sobre todo una mayor vida productiva que el Holstein en condiciones de clima caliente (Rizzi et ál. 2002); por otro lado, los cruces de ganado Jersey

con Sahiwal, Gyrolando y T40 presentan una mayor producción de leche por vaca y sobre todo un mejor comportamiento reproductivo que las Jersey puras bajo condiciones de trópico húmedo en Turrialba, Costa Rica (CATIE, datos no publicados).

Lo importante es que cada vez hay más trabajos de los genetistas cubriendo no solo los atributos asociados a producción, productividad y calidad de productos, sino también los relacionados con resistencia a enfermedades, el bienestar animal y la adaptación a los impactos ambientales, para lo cual se están considerando ciertos marcadores genéticos que pueden ayudar en su evaluación (Thornton 2010).

## REFERENCIAS

Clements, R.J. 1996. Pastures for prosperity. 3. The future for new tropical pasture plants. *Tropical Grasslands* 30:31-46.

Kalengamaliro, N.E., Gana, J.A., Cunningham S.M., Volenec, J.J. 2000. *Mechanisms regulating differential freezing tolerance of suspension cell cultures derived from contrasting alfalfa genotypes. Plant Cell, Tissue and Organ Culture* 61: 143-151.

Liu, W., Maurer H.P., Li, G., Tucker, M.R., Gowda, M., Weissman, E.A. 2014. *Genetic architecture of winter hardiness and frost tolerance in triticale*. PLoS ONE 9(6): e99848. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0099848>

Pezo, D. 2017. Tecnologías forrajeras para la intensificación de los sistemas ganaderos en el contexto del cambio climático. *Revista UTN* 78:18-25

Rao, I. et al. 2015. *LivestockPlus - The sustainable intensification of forage-based agricultural systems to improve livelihoods and ecosystem services in the tropics*. CIAT, Cali, Colombia. CIAT Publicación No. 407. 40 p.

Tambo, J.A.; Abdoulaye, T. 2012. *Climate change and agricultural technology adoption: the case of drought tolerant maize in rural Nigeria. Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* 17: 277-292.

White, D.S.; Peters, M.; Horne, P. 2013. *Global impacts from improved tropical forages: A meta-analysis revealing overlooked benefits and costs, evolving values and new priorities*. *Tropical Grasslands - Forrajes Tropicales* 1: 12-24.

# INNOVACIÓN: : MANEJO DE RESIDUOS

- Manejo integrado de excretas y fermentadores de biogás
- Composta y Lombricomposta

## FICHA TÉCNICA: Manejo integrado de excretas y fermentadores de biogás<sup>51</sup>



### ¿QUÉ ES UN BIODIGESTOR?

El biodigestor es un sistema que permite tratar las aguas residuales de lecherías, porquerizas, y otros módulos de confinamiento animal, por medio de manejo adecuado de las excretas y agua con alto contenido de materias orgánicas. Es una opción muy efectiva y de bajo costo que funciona mediante la acción de microorganismos que descomponen y transformación el estiércol y otras materias orgánicas en fertilizantes y biogás para distintos usos en la finca (CADETI 2017).

### ¿CUÁLES SON SUS BENEFICIOS?



### EN CUÁLES ZONAS AGROECOLÓGICAS Y AGROECOSISTEMAS TIENEN MAYOR POTENCIAL DE APLICACIÓN?

El manejo integrado de excretas por medio de la instalación de un biodigestor se puede implementar en cualquier zona agroecológica. El biodigestor se debe instalar cerca al lugar donde se puede coleccionar la mayor parte de las excretas producidas en la finca (p.e., corrales, sala de ordeño) que

51. Fotos de izquierda a derecha: 1. Limpieza da la sala de ordeño, recogiendo los residuos sólidos y líquidos para uso en el biodigestor. 2. Biodigestor de bolsa en construcción en finca ganadera. 3. Uso de bioles como abono a pasturas. (Fotos cortesía de Cristóbal Villanueva).com%2Fvi%2F918D0PLKT8E%2Fhqdefault.jpg&action=click



son la materia prima para el fermentador. Además, el biodigestor debe estar alejado de mantos acuíferos y tuberías de agua, y debe tener la oportunidad de recibir la radiación solar durante la mayor parte del día. Debe evitarse zonas donde hay tráfico frecuente de personas y animales.

## ¿CÓMO CONTRIBUYE A REDUCIR LA VULNERABILIDAD AL CAMBIO CLIMÁTICO?

La gestión integral de las excretas presta distintos beneficios al interior de las fincas ganaderas: mejora la fertilidad y el contenido de materia orgánica en los suelos; genera energía; mejora la producción sostenible para reducir los riesgos en la seguridad alimentaria; incrementa los ingresos en la finca y reduce los costos de producción; disminuye la dependencia de insumos externos (p. ej., fertilizantes sintéticos); mitiga las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), la contaminación de suelos y agua y la degradación de recursos naturales; y evita efectos negativos sobre la salud humana y la sanidad animal (Casasola y Villanueva 2015). También, este manejo puede ayudar a reducir los malos olores asociados a las excretas animales, los cuales han sido causa de conflicto entre los productores y las comunidades vecinas (Pinos et ál. 2012).

El manejo integral de las excretas puede incluir la colecta y distribución directa de los purines (mezcla de heces, orina y agua) como fertilizante a las áreas de cultivos y forrajes o su uso para la producción de biogás, y el material sólido/líquido remanente luego de la fermentación es usado como fertilizante. En algunos casos, hay también separación de parte de la fibra de las heces antes de ingresar al biodigestor y esa fibra es usada para la producción de compost.

Sin este tipo de manejo en las explotaciones ganaderas, existe el riesgo de que las excretas animales lleguen a contaminar los recursos hídricos superficiales y subterráneos, ocasionando conflictos entre diferentes usuarios del agua. De igual forma, en los sistemas convencionales las excretas emiten gases de efecto invernadero (GEI), las cuáles ejercen un efecto negativo sobre el cambio climático. Este enfoque de manejo integral de las excretas puede ayudar a reducir la vulnerabilidad al cambio climático, pues primero reducen las demandas de agua para lavar las excretas, y el biolodo resultante se puede aplicar a los cultivos agrícolas y forrajeros; mejorando la productividad y la materia orgánica contenida en el ayuda a retener humedad en el suelo.

## ¿CÓMO SE ESTABLECE?

La colecta de excretas y el uso de purines de manera directa y la instalación de biodigestores son parte de las alternativas para el manejo integrado de excretas en fincas ganaderas. Esta consiste en captar las excretas de los animales mezcladas con el agua de los lavados de corrales, para su distribución a áreas de cultivo o pastoreo, o el llevarlas a los biodigestores, donde por un proceso de descomposición anaeróbica (en ausencia de oxígeno) se obtiene biogás (parte gaseosa), biól (parte líquida) y biosol (parte sólida).

De manera general, se considera que un sistema de manejo integrado de excretas en la finca debe tener las siguientes características básicas en su diseño y operación:

1. Ubicación estratégica con relación a las zonas de mayor producción de excretas
2. Facilite el aseo de los corrales y la colecta del estiércol

3. Bajo requerimiento de mano de obra
4. Poca demanda de agua
5. Permite almacenar la mayor parte de las excretas producidas en la finca
6. Ausencia de olores ofensivos
7. Ayuda a eliminar patógenos (microorganismos y parásitos)
8. Fácil colección del biol y biosol para ser aplicado en cultivos o pastos

## ¿CUÁLES SON LOS REQUERIMIENTOS PARA SU IMPLEMENTACIÓN?

Esta tecnología es más fácil de implementar cuando se tienen sistemas estabulados y semiestabulados, donde se concentra la producción de excretas animales. En cambio, su uso es menos factible en sistemas eminentemente pastoriles, por las dificultades de colección de las excretas para alimentar el biodigestor (Cuadro 1).

**Cuadro 1.** Requerimientos para la implementación de fermentadores de biogás.

Requerimiento	Preparación*	Utilización*
Mano de obra	1 a 2	1 a 2
Inversión o capital	2 a 3**	1
Infraestructura	2 a 3**	1 a 2***
Maquinaria	1	1 a 2***
Insumos biológicos	1	1

\*Nivel de costo: 1=bajo, 2=medio, 3=alto

\*\*2 si son biodigestores plásticos, 3 para los permanentes.

\*\*\* 2 en el caso que los purines sean distribuidos usando bombas y aspersores.

## ¿QUÉ OTROS BENEFICIOS Y COBENEFICIOS APORTA ESTA PRÁCTICA?

### Beneficios esperados en la producción agrícola y/o pecuaria

Los rendimientos de los cultivos agrícolas y la producción de forraje para el ganado se incrementan con el uso de los purines y el biol + biosol como fertilizantes. Estos subproductos mejoran las propiedades químicas, físicas y biológicas de suelo (Casasola y Villanueva 2015). Asimismo, el gestionar las excretas a nivel finca puede asegurar su disponibilidad inmediata para la producción y reducir la compra de fertilizantes químicos, y de esta manera contribuye a reducir los costos de producción (Hristov et ál. 2013). También existe la posibilidad aprovechar y comercializar las excretas tratadas, como el caso del biol y el biosol, lo que representará un ingreso adicional de los sistemas de producción animal.

## Cuadro 2. Cobeneficios esperados con el uso fermentadores de biogás.

Socioeconómicos	Nivel o grado*	Ambientales	Nivel o grado*
Diversificación de la producción	2 a 3	Conservación de agua	2
Estabilidad en la producción	2 a 3	Conservación de biodiversidad	1 a 2
Empleo	2 a 3	Conservación de suelo	2 a 3
Seguridad alimentaria	2 a 3	Reducción de GEI	3
Ingreso	2 a 3	Captura de carbono	1

\*Nivel de beneficios: \*1=bajo, 2=medio, 3=alto, NA= no aplica

## CASOS DE ÉXITO

### Biogás Nicaragua, Iluminación de corrales y cocina:



El Programa de Desarrollo del Mercado de Biogás en Nicaragua (<http://programabiogasnicaragua.org/>) se implementa desde el 2012 y tiene como meta contribuir a incrementar el acceso y el uso de energía renovable alternativa en zonas rurales de Nicaragua.

Dentro de las actividades desarrolladas, está la construcción de biodigestores de pequeña y mediana escala, acorde al tipo de productor beneficiario.

El programa logró que los productores mejoren el manejo de las excretas en sus fincas, mediante el uso de biodigestores los cuales les permite: generar energía eléctrica para iluminar su infraestructura productiva, como las salas de ordeño; energía para el funcionamiento de equipos, como las picadoras de pasto y enfriadoras; la aplicación del biol en el cultivo de café, maíz y frijol (Prehn, 2010), y la producción de gas metano para la cocina de la familia rural (Buitrago y Hernández 2016), reduciendo el uso de leña.

## REFERENCIAS

Buitrago, J.M.; Hernández, S. 2016. Estudios de caso. Caso no. 1: Iluminación de corrales y cocina con biogás. Finca: Santa Rosa del Tuma. El Tuma-La Dalia, Matagalpa. SNV/Hivos/NDF/FOMIN. Managua, Nicaragua. 28 p. <http://programabiogasnicaragua.org/wp-content/uploads/2016/11/Estudio-de-Caso-No.1-Gladys-Bolt-VF.pdf><http://programabiogasnicaragua.org/wp-content/uploads/2016/11/Estudio-de-Caso-No.1-Gladys-Bolt-VF.pdf> (Consultado agosto 2017)

CADETI. 2017. Manual de herramientas sobre tecnologías de producción agropecuaria. CADETI, MAG-MINAE, San José, Costa Rica. 102 p.

Casasola, F.; Villanueva, C. 2015. Buenas prácticas para la mitigación al cambio climático de los sistemas de producción de leche en Costa Rica. CATIE Serie técnica. Manual técnico No. 129, CATIE, Turrialba, Costa Rica. 128 p.

Hristov, A., Lee, O.J., Meinen, C., Montes, R., Ott, F., Firkins, T., Rotz, J., Dell, A., Adesogan, C., Yang, A., Tricarico, W., Kebreab, J., Waghorn, E., Dijkstra, G., Oosting, J. 2013. Mitigación de las emisiones de gases de efecto invernadero en la producción ganadera: Una revisión de las opciones técnicas para la reducción de las emisiones de gases diferentes al CO<sub>2</sub>. Gerber, P.J., Henderson, B.; Makkar, H. (Eds.). Documento No. 177. Producción y Sanidad Animal FAO, Roma, Italia. 156 p.

Pinos, J; García, J; Peña, L; Rendón, J; González, C; Tristán, F. 2012. Impactos y regulaciones ambientales del estiércol generado por los sistemas ganaderos de algunos países de América. *Agrociencia*. 46(4):359-370.

Prehn, M.; Cumana, I. 2010. La bioenergía en México: Estudios de caso. Cuadernos Temáticos sobre Bioenergía N° 1. Red Mexicana de Bioenergía. 36 p.

## FICHA TÉCNICA: Compostaje y lombricompostaje<sup>52</sup>



### ¿QUÉ ES EL COMPOSTAJE Y LOMBRICOMPOSTAJE?

El compostaje consiste en la transformación de la materia orgánica por medio de microorganismos disponibles en el ambiente natural, en presencia de aire, humedad y bajo condiciones controladas. El lombricompostaje es un proceso similar solo que la materia orgánica sufre una serie de transformaciones físicas, químicas y microbiológicas al pasar a través del tracto digestivo de las lombrices. Estas prácticas son alternativas viables de manejo y aprovechamiento de residuos orgánicos provenientes de la agricultura, ganadería, agroindustria, basuras municipales y domésticas (Velasco 2002). El producto final de dichas prácticas, conocidos como composta y lombricomposta, asegura la obtención de un material homogéneo y biológicamente estable, rico en nutrientes tanto de asimilación rápida por las plantas como de aquellas que requieren un tiempo adicional para su liberación y aprovechamiento.

52. Fotos de izquierda a derecha. 1. Compostaje de abonos verdes y residuos de cosecha en Finca Las Cañadas, México; 2 y 3 el lombricompostaje en pequeñas camas protegidas permite transformar residuos de animales y de plantas rápidamente en materia orgánica de alta calidad nutricional y microbiana (Fotos cortesía de Reinhold Muschler).

## ¿CUÁLES SON SUS BENEFICIOS?



## ¿EN CUÁLES ZONAS AGROECOLÓGICAS Y AGROECOSISTEMAS TIENE MAYOR POTENCIAL DE APLICACIÓN?

La producción de compost puede ser implementada a cualquier escala, en todos los lugares donde haya explotaciones agrícolas e industriales que generen residuos orgánicos (por ejemplo, restos de poda, de cosecha, de postcosecha, estiércol, pastos, frutas no comercializadas, residuos de cocina, entre otros). Es apropiado para todas las zonas agroecológicas en América Latina y el Caribe.

## ¿CÓMO CONTRIBUYE A REDUCIR LA VULNERABILIDAD AL CAMBIO CLIMÁTICO?

El uso de los fertilizantes orgánicos en la agricultura, como los que se obtienen en la composta y lombricomposta, puede aumentar la cantidad de carbono que se almacena en los suelos agrícolas, además que contribuye a reducir de manera significativa la emisión de gases de efecto invernadero. Este método de reciclaje es ideal para el tratamiento de las excretas animales, como también los desechos de tipo orgánico de origen domiciliario y de la propia finca. Estos procesos de compostaje aceleran la transformación de materia prima en abonos de calidad que pueden satisfacer, al menos parcialmente, la demanda de nutrientes de los cultivos y, de esta manera, reducir las necesidades de usar fertilizantes químicos y, a la vez, mejorar la calidad nutricional de los vegetales producidos (Rodríguez et ál. 2009). Adicionalmente, su aplicación puede ayudar a incrementar la infiltración y retención de humedad en el suelo. La producción de compost es una práctica relativamente barata de reducir el volumen y peso de los residuos (Castillo et ál. 2000).

## ¿CÓMO SE ESTABLECE?

Para que sea eficiente el proceso de producción de composta se debe asegurar el proveer las condiciones óptimas para la vida de los microorganismos o lombrices responsables de la degradación de la materia orgánica. Los siguientes atributos son clave:

- **Tamaño de partícula de los residuos orgánicos:** los residuos deben trocearse a tamaños de partícula entre 2 y 5 cm para favorecer un proceso de descomposición más acelerado.
- **Relación C/N:** para asegurar un buen desarrollo de los microorganismos y lombrices responsables de la descomposición de materia orgánica la relación C/N debe estar entre 15 y 20 (Guo et ál 2012). El carbono abunda en tallos y hojas viejas, en frutos y otros residuos de origen vegetal, mientras el nitrógeno en las hojas tiernas y en las excretas animales.
- **Oxígeno:** como se trata de descomposición por microorganismos o lombrices que requieren de oxígeno, entonces conviene tener la materia orgánica en un montón bien aireado.

- **Humedad:** los organismos responsables de la descomposición de materia orgánica requieren de niveles intermedias de humedad, pero se debe evitar un exceso para evitar podredumbre y descomposición anaeróbica.
- **Temperatura:** en el compostaje y lombricompostaje doméstico la descomposición suele tener lugar a temperatura ambiente con un rango ideal de 15 a 30 °C; cuando se trabaja con volúmenes grandes, la temperatura del montón puede elevarse hasta 70 °C y hay que voltear el material para evitar temperaturas excesivas.
- **pH:** los microorganismos y las lombrices trabajan mejor en un medio neutro o incluso algo alcalino. La presencia excesiva de restos orgánicos ácidos (hojas de arbustos de tierras ácidas, cítricos) afectará la reproducción y actividad de los organismos responsables de la descomposición de materia orgánica (Román et ál. 2013).

## MATERIALES PARA LA PREPARACIÓN DE COMPOSTA Y LOMBRICOMPOSTA

En lo siguiente se caracterizan brevemente los tres ingredientes principales: los desechos a procesar, microorganismos descomponedores o antagonistas a enfermedades, y lombrices en el caso de lombricompostaje.

Desechos orgánicos se pueden clasificar por su origen:

- i. De cocina:** esta categoría considera materiales residuales de la preparación de comidas (partes de frutas, verduras, carnes, cáscaras de huevo, entre otros).
- ii. De jardín:** incluye los restos de la limpieza y recorte de huertas y jardines (flores, tallos, pastos, hojarasca).
- iii. Subproductos agrícolas:** los más utilizados son los residuos de cosecha de prácticamente cualquier cultivo, así como los residuos de procesamiento agroindustrial (pulpa de café, cachaza, cascaras de piña etc).
- iv. Desechos del ganado:** los estiércoles, orina y deyecciones de todo tipo de animales, son excelentes para el compostaje ya que contienen un alto porcentaje de nutrimentos (Casasola y Villanueva 2015).
- v. Forestales:** los restos de los árboles, hojas y ramas caídas son una fuente importante de material para la elaboración de compostas. Estos desechos contienen grandes cantidades de celulosa y lignina que se descomponen parcialmente en la pila de compostaje y continúan mineralizándose en el suelo después de aplicados.
- vi. Desechos urbanos y agroindustriales:** se constituyen de la fracción biodegradable de la basura, como cartón, papel, residuos finos de comida y fibras naturales y los residuos que proceden de la industrialización de productos tales como hortalizas, cacao, café, arroz, maíz y maderas, entre otros.

**Inóculos:** existen mezclas de microorganismos descomponedores que activan y aceleran el compostaje y también microorganismos como p.e. el hongo Trichoderma que juega un rol importante en suprimir hongos patógenos en compostas y suelos. En muchas fincas, sobre todo de pequeños productores, se usa la practica de agregar abonos maduros y/o tierras fértiles por su alta diversidad microbial para inocular una pila nueva de composta (ver Ficha Técnica “Microorganismos benéficos”)

**Lombrices:** las lombrices más adecuadas se caracterizan por una gran voracidad, alta capacidad reproductiva, facilidad de trabajar con ellos y que tengan la capacidad para

## ¿CÓMO PREPARAR EL COMPOST?

El compostaje y lombricompostaje son prácticas relativamente sencillas, en el que los materiales se apilan en montones o camas según el volumen y el método de procesamiento. Las labores centrales son:

**1. Recolectar los materiales y prepararlos:** cortar o triturar los residuos a partículas de 2 y 5 cm de largo.

**2. Realizar las camas:** la altura de las camas puede variar de 1 a 2 m, con un ancho de 1 a 4 m dependiendo de la forma de manejo (manual o con maquinas de voleto). Para formar la cama o pila se coloca una capa de aproximadamente 20 a 30 cm de grosor de residuos secos, seguido de una capa de materia orgánica fresca, estiércol o residuos orgánicos domésticos de aproximadamente 10 cm hasta alcanzar la altura deseada. Si el objetivo es preparar lombricomposta, se debe humedecer el material y depositar el pie de cría de lombrices en el centro de las camas, asegurándose que esta capa inicial sea de unos 10 a 15 cm. Se recomienda colocar un módulo o pie de cría por metro cuadrado. Luego se cubre la cama con una capa ligera del mismo material y se coloca una capa de hojas de banano, paja o rastrojo seco sobre la cama.

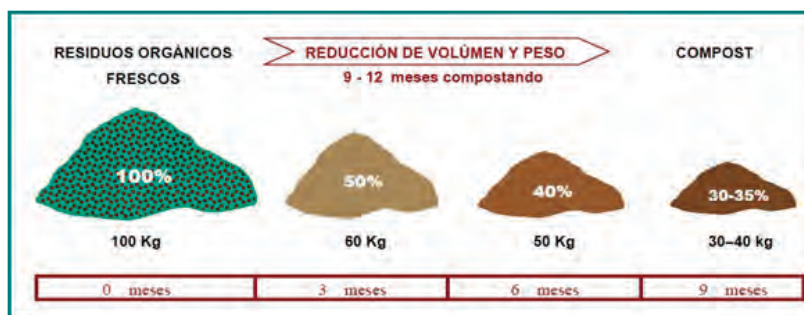
**3. Volteo:** dependiendo de las caracterisitcas es recomendable voltear a intervalos que permiten evitar un calentamiento excesivo. Para compostas ricas en azucares como mezclas de Bocashi u otras materiales enriquecidas para una composteo acelerado, puede ser necesario voltear 2 a 3 veces por dia durante 1 a 3 semanas para concluir el proceso. Para materiales que no se calientan tan rapidamente puede ser suficiente de voltear los materiales a intervalos de días y hasta semanas para asegurar una aeracion adecuada de los desechos..

**4. Adición de agua:** la composta se debe mantener a una humedad intermedia para fomentar los procesos de descomposicion. La presencia de hormigas indica que la composta esta demasiado seca. La aplicación de agua tambien permite bajar la temperatura

**5. Tamizar (al final):** una vez terminado el proceso, el material debe tamizarse para eliminar materiales gruesos y aquellos residuos de difícil descomposición. Con el cribado del material se obtienen materiales de diferentes granulometrías, las cuales se pueden emplear para diferentes fines.

**6. Duración del proceso:** dependiendo de las mezclas y la intensidad de volteos, el tiempo necesario para el compostaje puede variar de pocas semanas para compostas fermentadas y activadas como Bocashi hasta más de 6 meses para materiales fibrosos en procesos de descomposición fría y natural (Velasco 2002).

**7. Flujo de materiales:** un taza típica de transformación es en el rango de 30 a 40% de composta terminada con respecto a la materia prima original. (Figura 1)(Alcolea et ál. 2000).



**Figura 1.** Disminución de peso y volumen durante el compostaje.

El Cuadro 1 resume recomendaciones generales sobre donde ubicar una compostera, como se puede determinar cuando una composta esta lista para su uso y da recomendaciones sobre el uso de compostas.

**Cuadro 1.** Ubicación, atributos de calidad y uso de la composta o lombricomposta.

<b>¿Dónde ubicarlo?</b>	En zonas frías conviene que esté expuesto al sol para que el incremento de temperatura ayude al trabajo de los microorganismos. Debe estar al abrigo del viento, para evitar pérdidas de humedad y enfriamiento. En climas cálidos, conviene ubicar la pila de compostaje en la sombra, para que no haya grandes pérdidas de humedad. Siempre se recomienda manejar la composta bajo techo para evitar pérdidas de nutrientes por lixiviación de lluvia.
<b>¿Cuándo está maduro?</b>	Olor: si huele a tierra de bosque, está bien compostado y se puede utilizar sin problemas. Si huele a podrido o a amoníaco, hay que "recompostar", aportando materiales secos y dando aire a la pila. Si no huele o huele a tierra seca, está demasiado descompuesto. Humedad y textura: debe tener una textura suelta y granulosa. La composta o lombricomposta está buena si no gotea ni se desmenuza al coger un puñado y apretar con la mano. Color y aspecto: si está bien procesado, es de color oscuro y no se reconocen los componentes originales. Si se reconocen estos, está demasiado fresco. Una coloración blanquecina o grisácea, indica sequedad o presencia de hongos.
<b>¿Cómo se usa?</b>	A los 2-3 meses: puede ser distribuido en capas de 5 cm sobre la tierra. Es excelente para protegerla de los cambios de temperatura y de la sequedad. A los 4-6 meses o más: es un humus fertilizante óptimo, el cual se puede aplicar en huertas y áreas de cultivo a razón de 2-3 kg (5 litros) por metro cuadrado, enterrándolo a 10-15 cm. Para árboles frutales, se debe aplicar una capa de al menos 3 cm de compost maduro alrededor del tronco.



## ¿CUÁLES SON LOS REQUERIMIENTOS PARA SU IMPLEMENTACIÓN?

El compostaje y el lombricompostaje son prácticas relativamente baratas que tienen bajos requerimientos. Los gastos principales se generan por la compra de materiales y para la mano de obra para instalar estructuras de techo, las herramientas o maquinaria para el manejo de las composteras y la compra de lombrices (Cuadro 2).

**Cuadro 2.** Requerimientos para la implementación de compostaje y lombricompostaje.

Requerimiento	Establecimiento*	Mantenimiento*
Mano de obra	2	1***
Inversión o capital	2	1
Infraestructura	1 a 2**	1
Maquinaria	1	1
Insumos biológicos	3	2-3

\*Nivel de costo: 1=bajo, 2=medio, 3=alto

## ¿QUÉ OTROS BENEFICIOS Y COBENEFICIOS APORTA ESTA PRÁCTICA?

### Beneficios esperados en la producción agrícola y/o pecuaria

La composta y lombricomposta son fuentes ricas de materia orgánica y elementos minerales. La materia orgánica juega un papel importante en el mantenimiento de la fertilidad del suelo, y su capacidad de retener aguas, nutrientes y microorganismos benéficos en el suelo (Román et ál. 2013).

La aplicación de compostas a suelos mejora el crecimiento y la salud de los cultivos al mismo tiempo que reduce la dependencia de fertilizantes inorgánicos y de plaguicidas y aumenta la capacidad de suelos a retener y conservar aguas y nutrientes (Cuadro 3).

**Cuadro 3.** Cobeneficios esperados con el uso composta y lombricomposta.

Socioeconómicos	Nivel o grado*	Ambientales	Nivel o grado*
Diversificación de la producción	2	Conservación de agua	2
Estabilidad en la producción	2 a 3	Conservación de biodiversidad	2
Empleo	2	Conservación de suelo	3
Seguridad alimentaria	2 a 3	Reducción de GEI	2
Ingreso	2 a 3	Captura de carbono	2

\*Nivel de beneficios: \*1=bajo, 2=medio, 3=alto.

## CASOS DE ÉXITO

En América Latina y el Caribe existen millones de productores y empresas que producen compostas y lombricomposta a diferentes escalas. En Costa Rica, La empresa “Lombritica” es una de las empresas más grandes con instalaciones protegidas que permiten transformar grandes cantidades de materia orgánica proveniente del procesamiento del café o de la caña de azúcar (Figura 2).



**Figura 2.** Izquierda: Instalaciones de la empresa “Lombritica SA” en Costa Rica para la transformación de materia orgánica en lombricomposta a gran escala. Derecha: lombrices y sustrato.

**Efectividad de composta y lombricomposta.** Un estudio para comparar la efectividad de abonos orgánicos versus fertilizantes y agroquímicos sintéticos reveló que el uso de una proporción de 25% lombricomposta o composta de pulpa de café mezclado con suelo permitió obtener plántulas de café a los seis meses con el mismo vigor y crecimiento como plántulas tratadas con fertilizantes sintéticos y fungicidas (Castellón et ál. 2000; Figura 3). Este estudio demostró claramente la efectividad de compostas orgánicas y su potencial de sustituir fertilizantes sintéticos.

Figura 3. El uso de sombra y pulpa de café (procesada con o sin lombrices) en la relación 1:3 (substrato-suelo) permitió un crecimiento perfecto de plántulas de café sanas y vigorosas, las cuales fueron similares a las obtenidas con fertilización convencional (Castellón et ál. 2000; Fotos cortesía de Reinhold Muschler).

El segundo caso viene de un sistema ganadero en México (Olivares et al. (2012). Este estudio tuvo como objetivo evaluar el efecto de la aplicación de composta y lombricomposta obtenidos a partir de estiércol de ganado lechero sobre la asimilación de nutrientes en lechuga (*Lactuca sativa* L.). Los resultados mostraron que el contenido nutricional de N foliar en plantas tratadas con composta y lombricomposta fue similar a cuando se aplicó una cantidad equivalente del fertilizante nitrogenado inorgánico, pero las primeras mostraron mayores contenidos de Ca, Mg, Zn y Mn foliar. Al mismo tiempo la fertilización a base de lombricomposta y composta generaron los mayores contenidos de materia orgánica y de macronutrientes en los suelos (Olivares et ál. 2012).

Sin duda, la elaboración y el uso de compostas no solamente ofrece un gran potencial para reducir las cantidades de desechos orgánicos sino ofrecen, al mismo tiempo, opciones importantes para la conservación de la fertilidad de los suelos y para reducir la dependencia de fertilizantes sintéticos. El conjunto de estos beneficios es una contribución importante hacia la sostenibilidad de los sistemas agrícolas del futuro.

## REFERENCIAS

- Casasola, F.; Villanueva, C. 2015. Buenas prácticas para la mitigación al cambio climático de los sistemas de producción de leche en Costa Rica. CATIE Serie técnica. Manual técnico No. 129, CATIE, Turrialba, Costa Rica. 128 p.
- Castellón, J.U., Muschler, R.G., Jiménez, F. 2000. Abonos orgánicos: efecto de sombra y altitud en almácigos de café. *Agroforestería en las Américas (CATIE)* 7: 30-33
- Castillo, A.E., Quarín, S.H., Iglesias, M.C. 2000. Caracterización química y física de compost de lombrices elaborados a partir de residuos orgánicos puros y combinados. *Agricultura Técnica* 60: 74-79.
- Guo, R., Li, G., Jiang, T., Schuchardt, F., Chen, T., Zhao, Y., Shen, Y. 2012. Effect of aeration rate, C/N ratio and moisture content on the stability and maturity of compost. *Bioresource Technology* 112; 171-178
- Olivares, M.A., Hernández, A., Vences, C., Jáquez, J.L., Ojeda, D. 2012. Lombricomposta y composta de estiércol de ganado vacuno lechero como fertilizantes y mejoradores de suelo. *Universidad y Ciencia (México)* 28:27-37.
- Rodríguez DN, Cano RP, Figueroa VU, Favela CE, Moreno RA, Márquez HC, Ochoa ME, Preciado R. 2009. Uso de abonos orgánicos en la producción de tomate en invernadero. *Terra Latinoamericana* 27: 319-327.
- Román, P., Martínez, M.M., Pantoja, A. 2013. Manual de compostaje del agricultor: experiencias en América Latina. FAO, Oficina Regional para América Latina y el Caribe. Santiago, Chile. 106 p.
- Torres-Cedillo, L. 2014. Elaboración de composta. Fichas Técnicas sobre Actividades Agrícolas, Pecuarias y de Traspatio No, 5. SAGARPA, Sistema de Agronegocios de Traspatio. Chapingo, México. 8 p.
- Velasco J. (2002). Alternativa Tecnológica para el Manejo de Residuos Orgánicos. Colegio de Postgraduados México. 9-11.

# INNOVACIÓN: : ALIMENTOS PARA EL GANADO

- Manejo racional del pastoreo
- Conservación de forrajes
- Uso de residuos de cosecha y subproductos agroindustriales

## FICHA TÉCNICA: manejo racional del pastoreo<sup>53</sup>



### ¿QUE ES EL MANEJO RACIONAL DEL PASTOREO?

El manejo racional del pastoreo permite mejorar los sistemas de producción ganadera en los diferentes agroecosistemas, mitigar los efectos negativos ambientales generados por los sistemas tradicionales, mejorar el bienestar de los animales e incrementar la productividad animal. El manejo racional del pastoreo busca satisfacer plenamente las necesidades tanto del animal como del pasto, con el fin de obtener el máximo rendimiento de ambos en el largo plazo.

### ¿CUÁLES SON SUS BENEFICIOS?



53. Fotos de izquierda a derecha. 1. Árboles para generar sombra y alimento a los vacunos. 2. Ramoneo directo. (Fotos cortesía: Danilo Pezo).

## **¿EN CUÁLES ZONAS AGROECOLÓGICAS Y AGROECOSISTEMAS TIENEN MAYOR POTENCIAL DE APLICACIÓN?**

En todas las zonas de América Latina y el Caribe donde existan sistemas de producción de rumiantes (bovinos, ovinos, caprinos).

## **¿CÓMO CONTRIBUYE A REDUCIR LA VULNERABILIDAD AL CAMBIO CLIMÁTICO?**

Pasturas mal manejadas sufren con el tiempo una pérdida en su potencial productivo, como resultado de la pérdida de las especies forrajeras sembradas, su reemplazo por especies invasoras poco apetecibles para el ganado, y eventualmente la pérdida de cobertura vegetal, con los consiguientes impactos en la pérdida del recurso suelo. Adicionalmente, las pasturas degradadas tienen una menor capacidad para capturar y acumular carbono, presentan una mayor emisión de CH<sub>4</sub> por kilo de producto animal y la pérdida de biodiversidad. Todo esto contribuye a que las pasturas degradadas sean más vulnerables a los impactos del cambio climático. En respuesta a ello, la implementación de sistemas de manejo racional del pastoreo/ramoneo contribuye a que las especies deseables persistan, asegurando que haya una adecuada disponibilidad de forraje a lo largo del año y que se logren niveles altos de productividad animal en el largo plazo sin comprometer la sostenibilidad de la base de recursos naturales.

## **¿CÓMO SE ESTABLECE?**

Para el diseño de los sistemas racionales de pastoreo/ramoneo debe identificarse la(s) especie (s) utilizada, su potencial productivo, qué mecanismos se usan para rebrotar luego de la defoliación y para persistir; el área disponible; el tipo y número de animales para su uso actual y potencial; la topografía del terreno; la disponibilidad de fuentes de agua y de facilidades para el manejo animal, entre otros. Para su establecimiento, hay que revisar el sistema de pastoreo en uso, analizar sus debilidades y fortalezas, y si se pueden utilizar algunas de las estructuras existentes en el nuevo sistema. Además, se debe definir cómo aplicar los siguientes principios del pastoreo racional intensivo: a. dejar descansar la pastura lo suficiente para expresar su potencial de rebrote sin comprometer reservas, b. el largo del período de ocupación debe ser suficientemente corto como para que los rebrotes plantas defoliadas en un ciclo no se consuman en el mismo ciclo de pastoreo, c. ajustar el sistema de pastoreo a las necesidades nutricionales de los animales y d. mantener flexibilidad en el ciclo de pastoreo, pudiendo conservar forraje excedente en periodos de rápido crecimiento (Sorio 2006). Igualmente, es importante mantener una carga animal o intensidad de pastoreo que asegure tener algo de residuo postpastoreo de manera tal que no comprometa la sobrevivencia de las plantas y un buen desarrollo radicular que asegure el ciclo de crecimiento se extienda en parte del periodo seco, retirando los animales del pastoreo cuando ya no hay oportunidad de rebrote dentro del periodo seco.

## **¿CUÁLES SON LOS REQUERIMIENTOS PARA SU IMPLEMENTACIÓN?**

El pastoreo/ramoneo es una práctica segura, económica, eficaz y sencilla, que incrementa la producción por hectárea y reduce los costos de producción debido a menor control de maleza, menos mano de obra, entre otros (cuadro 1).

**Cuadro 1.** Requerimientos para la implementación del pastoreo.

Requerimiento	Establecimiento*	Mantenimiento*
Mano de obra	1 a 2	1
Inversión o capital	2 a 3	1
Infraestructura	1 a 2	1
Maquinaria	NA**	NA**
Insumos biológicos	1 a 2	1

\*Nivel de costo: 1=bajo, 2=medio, 3=alto

\*\*NA: no aplica

## ¿QUÉ OTROS BENEFICIOS Y COBENEFICIOS APORTA ESTA PRÁCTICA?

### Beneficios esperados en la producción agrícola y/o pecuaria

La aplicación de sistemas de pastoreo racional contribuye a mantener la estabilidad de las pasturas y a extender su uso al menos durante parte del periodo seco. Estos sistemas permiten lograr una mayor productividad animal (kg de producto por hectárea por año) y prevenir la degradación de las pasturas. El Cuadro 2 presenta los cobeneficios principales de implementar ramoneo desde la dimensión socioeconómica y ambiental.

**Cuadro 2.** Cobeneficios esperados con el uso del manejo racional del pastoreo.

Socioeconómicos	Nivel o grado*	Ambientales	Nivel o grado*
Diversificación de la producción	1	Conservación de agua	1
Estabilidad en la producción	2 a 3	Conservación de biodiversidad	3
Empleo	1	Conservación de suelo	NA**
Seguridad alimentaria	1 a 2	Reducción de GEI	2
Ingreso	2 a 3	Captura de carbono	NA**

\*Nivel de beneficios: \*1=bajo, 2=medio, 3=alto.

\*\*NA: no aplica

## CASOS DE ÉXITO

El uso del pastoreo rotacional es bastante común en América Latina y el Caribe, pero la intensidad de uso y el nivel de inversión para su implementación varía con los sistemas de producción (por ejemplo, cría, crecimiento, engorde, producción de leche) y el tipo de pasturas (por ejemplo, pastizales naturales o cultivados). Diversos estudios evidencian las ventajas de los sistemas de pastoreo racional, con esquemas de rotación bien definidos sobre la producción animal, pero cuando se considera su rol en la adaptación al cambio climático hay que considerar además sus efectos sobre la vegetación, los organismos responsables de los procesos de mineralización de la

materia orgánica, las características químicas y físicas del suelo, y las propiedades hidrológicas de las áreas manejadas bajo pastoreo (Teague et al, 2011).

Son muchos los ejemplos de cambios en productividad y la respuesta animal cuando se pasa de sistemas de pastoreo rotacional tradicionales a los sistemas de pastoreo racional intensivo, pero para propósitos de ilustración sólo se describe brevemente un caso desarrollado en el Pacífico Central de Costa Rica (Rodríguez y Chávez 2017); una zona con periodo seco de seis meses, donde la implementación de un sistema de pastoreo racional intensivo en ganado en crecimiento resultó en el incremento en la carga animal de 1,29 a 2,34 novillos/ha, con una ganancia diaria de 606 g/día. Con este sistema, el ingreso adicional generado por el cambio del sistema de pastoreo permitió recuperar el 82% de la inversión estableciendo las cercas y todo lo relacionado con el manejo del pastoreo.

En el caso de las leguminosas arbóreas utilizadas directamente por los animales, también es factible establecer en ellas un buen manejo racional que permita un ramoneo efectivo, con arreglos espaciales que permitan la circulación de animales entre ellos. En algunos casos van asociados con pastos a distancias de 5 a 6 m entre hileras de la leñosa, con las especies herbáceas entre esos “callejones” o en bancos donde solo están las leñosas y los animales ingresan por unas pocas horas en el día (Holguín e Ibrahim 2005). En este último caso, se han observado incrementos en producción de leche de al menos un 20% como resultado del acceso al banco forrajero (Turcios 2008).

## REFERENCIAS

Holguín, V.A.; Ibrahim, M. 2005. Bancos forrajeros de especies leñosas. Serie Cuadernos de Campo. Proyecto enfoques silvopastoriles integrados para el manejo de ecosistemas. CATIE/LEAD. Managua, Nicaragua. 24 p.

Maraschin, G.E. 2001. Production potential of South America Grasslands. International Grassland Congress (Vol. 19). 33 p. [Consultado 21 Agosto 2017 <http://www.internationalgrasslands.org/files/igc/publications/2001/abertura2.pdf>].

Rodríguez, D.; Chávez, M. 2017. Experiencias en la Implementación del sistema de pastoreo racional intensivo en el Pacífico Central de Costa Rica. En: II Congreso Forrajero Nacional, Atenas, Costa Rica. 1-3 febrero 2017. 24 p.

Sorio, H. 2006. Pastoreo Voisin: Teorías, prácticas, vivencias. Ed. Méritos. Passo Fundo, Brasil. 240 p.

Teague, W.R., Dowhower, S.L., Baker, S.A., Haile, N., DeLaune, P.B., Conover, D.M. 2011. Grazing management impacts on vegetation, soil biota and soil chemical, physical and hydrological properties in tall grass prairie. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 141: 310-322.

Turcios, H. 2008. Evaluación del proceso de toma de decisiones para la adopción de bancos de proteína de *Leucaena* (*Leucaena leucocephala*) y su efecto como suplemento nutricional para vacas lactantes en sistemas de doble propósito en El Chal, Petén, Guatemala. Tesis Mag. Sc. CATIE, Turrialba, Costa Rica. 125 p.

## FICHA TÉCNICA: Conservación de forrajes<sup>54</sup>



### ¿QUÉ ES LA CONSERVACIÓN DE FORRAJES?

Es el conjunto de técnicas destinadas a lograr una reserva de forrajes obtenidas en las épocas de altas tasas de crecimiento de las praderas en invierno y transformadas en productos lo más parecidos a la materia prima, para ser utilizados en las épocas de déficit de forraje, los sistemas más usados corresponden a heno y ensilaje. Esta reserva de alimento almacenado es una garantía para enfrentar posibles sequías, inundaciones, lluvias prolongadas u otras eventualidades.

### ¿CUÁLES SON SUS BENEFICIOS?



### ¿CUÁLES ZONAS AGROECOLÓGICAS Y AGROECOSISTEMAS TIENEN MAYOR POTENCIAL DE APLICACIÓN?

En todas las zonas de América Latina y el Caribe, donde se presenten períodos de sequía marcados o inviernos fríos que no permiten el crecimiento de los forrajes.

54. Fotos de izquierda a derecha. 1. Elaboración y conservación de forrajes. Víctor Basurto, México.  
2. Alimentación de Vacas Lecheras con silos. PERULACTEA, Perú.



## ¿CÓMO CONTRIBUYE A REDUCIR LA VULNERABILIDAD AL CAMBIO CLIMÁTICO?

Durante los períodos en que se presentan eventos extremos de exceso o déficit de lluvias, así como aquellos con temperaturas muy bajas (que en los Andes se conocen como friajes), se detiene el crecimiento de los pastos. Y, además, estos pierden su calidad nutritiva, lo cual incide en un pobre comportamiento productivo y reproductivo de los animales. El problema es que como consecuencia del cambio climático estos eventos están siendo cada vez más frecuentes, y a la vez menos predecibles. Por esa razón, el disponer de forrajes conservados como heno o ensilaje, es un mecanismo para reducir la vulnerabilidad de los sistemas de producción ganadera. Es más, el retirar los animales de los potreros en esos períodos de extrema sequía ayuda a prevenir el sobrepastoreo y su efecto sobre la persistencia de especies palatables, y la pérdida de energía por los animales haciendo extensos recorridos en busca de alimento. En el caso de los períodos fríos, el proveer el forraje conservado en corral, también reduce la pérdida de energía tratando de generar calor corporal.

## ¿CÓMO SE ESTABLECE?

de forraje a lo largo del año y el diseño de sistemas de producción de forraje durante los períodos de rápido crecimiento para fines de conservación y su uso en períodos críticos (Reyes et ál. 2006). También puede incluir la revisión de los sistemas de pastoreo, de manera tal que durante el período de rápido crecimiento no se usen todos los potreros, sino que algunos se cosechen con fines de conservación. También, debe planificarse el método de cosecha, equipo y procesos requeridos para la producción de forrajes conservados. El ensilaje puede prepararse sin mayores problemas en el período de lluvias; en cambio, la producción de heno requiere de unos días sin lluvia para hacer el secado a pleno sol (Suttie 2003).

## ¿CUÁLES SON LOS REQUERIMIENTOS PARA SU IMPLEMENTACIÓN?

En el Cuadro 1 se pueden ver otros requerimientos y su nivel de costos para su preparación y utilización.

**Cuadro 1.** Requerimientos para su implementación.

Requerimiento	Establecimiento*	Mantenimiento*
Mano de obra	1 a 2	1
Inversión o capital	1 a 3**	1
Infraestructura	1 a 2	1 a 2
Maquinaria	1 a 3	1
Insumos biológicos	1	N/A**

\*Nivel de costo: 1=bajo, 2=medio, 3=alto

\*\*NA: no aplica

\*\*\* Alto, si se mecaniza el proceso

## ¿QUÉ OTROS BENEFICIOS Y COBENEFICIOS APORTA ESTA PRÁCTICA?

### Beneficios esperados en la producción agrícola y/o pecuaria

La conservación de forrajes, y su uso como heno o ensilaje, contribuye a mantener la estabilidad de la producción animal, reduciendo las pérdidas en los períodos de escasez de forraje o condiciones de clima extremo que no permiten que los animales pastoreen. Además, ayuda a prevenir la degradación de pasturas por sobrepastoreo.

El Cuadro 2 presenta los cobeneficios principales en la dimensión socioeconómica y en la dimensión ambiental

**Cuadro 2.** Cobeneficios esperados con el uso de conservación de forrajes.

Socioeconómicos	Nivel o grado*	Ambientales	Nivel o grado*
Diversificación de la producción	1	Conservación de agua	1
Estabilidad en la producción	3	Conservación de biodiversidad	1
Empleo	1 a 2	Conservación de suelo	1 a 2
Seguridad alimentaria	2 a 3	Reducción de los gases de efecto invernadero (GEI)	2 a 3
Ingreso	2 a 3	Captura de carbono	N/A

\*Nivel de beneficios: 1=bajo, 2=medio, 3=alto

\*\*NA: no aplica

## CASOS DE ÉXITO

El uso de los forrajes conservados como heno o ensilaje es una práctica tradicional en muchas regiones y forma parte de los sistemas de producción en épocas de escasez de forraje. En las zonas templadas es común su uso en el período de invierno (Suttie 2003), mientras que en los países tropicales su uso es más frecuente en el período seco; sin embargo, su uso está menos difundido en los trópicos que en las zonas templadas, y en particular con productores pequeños, debido a la necesidad de equipo para el picado del forraje para ser ensilado. En respuesta a esto se han propuesto diferentes alternativas de organización de los productores para tener acceso a maquinaria, especialmente picadoras manuales y de tipo estacionario, y a sistemas tan simples como el silo tipo “cincho” (Reiber et ál. 2013), pero también sistemas tan simples como los llamados “hornos forrajeros”, en los que el forraje no requiere mayor picado, pero por supuesto las pérdidas son mayores (Solano et ál. 1994).

Un sistema tradicional de conservación de forrajes que se ha practicado con éxito por muchos años en América Central es el conocido como “guatera”, donde el sorgo y el maíz son sembrados a alta densidad en el segundo ciclo de cultivo luego de la “canícula” y fertilizados hasta con 120 kg N/ha. Como el período de crecimiento no es suficiente, las plantas solo alcanzan el desarrollo vegetativo o la floración inicial (sin llegar a la formación de grano). Las plantas son cortadas en ese estado y secadas hasta por seis días, luego se amarran en ramos y se guardan bajo sombra para reducir las pérdidas de nutrientes. La “guatera” es considerada por los productores como un forraje de alta calidad que se puede ofrecer a vasa en ordeño, pues tiene un 70% de digestibilidad, pero posee

contenidos marginales de proteína cruda (< 7,0%). Por ello cuando a guatera se ha suplementado con solo urea, sal común y sales minerales se han logran incrementos producción de hasta 13,7% en producción de leche con vacas de doble propósito.

## REFERENCIAS

Quiroz, R.A.; Pezo, D.A.; Rearte, D.K.; San Martín, F.A. Dynamics of Feed Resources in Mixed Farming Systems of Latin America. Renard, C. (Ed.). Crop Residues in Sustainable Mixed Crop/Livestock Farming Systems. CAB International, Wallingford, UK. Pp. 149-180.

Reiber, C.; Shultze-Kraft, R.; Peters, M.; Hoffman, V. 2013. Lessons from silage adoption studies in Honduras. Tropical Grasslands - Forrajes Tropicales 1: 235-239.

Reyes, N., Mendieta, B., Fariñas, T., Mena, M., Cardona, J. y D. Pezo. 2009. Preparación y utilización de ensilajes en la alimentación de bovinos. Serie Técnica, Manual Técnico N° 91. CATIE, Managua, Nicaragua. 98 p.

Solano, R.; Ruano, R.; Zamora, R. 1994. Hornos forrajeros: Una tecnología forrajera para pequeñas fincas ganaderas del trópico seco. Aspectos prácticos. Agronomía Mesoamericana 5:59-66.

Suttie, J.M. 2003. Producción de heno y paja para pequeños productores y en condiciones pastoriles. Colección FAO Producción y Protección Vegetal No. 29. FAO, Roma, Italia. 323 p.

## FICHA TÉCNICA: Uso de residuos de cosecha y subproductos agroindustriales para la alimentación animal<sup>55</sup>



### ¿QUÉ SON RESIDUOS DE COSECHA Y SUBPRODUCTOS AGROINDUSTRIALES?

Son parte de la cosecha que no cumple con los requisitos de calidad mínima para ser comercializada como tal. Estos residuos se obtienen de los restos de cultivos o de limpiezas que se hacen en el campo. Los residuos agroindustriales son materiales en estado sólido o líquido que se generan a partir del consumo directo de productos primarios o de su industrialización. En los últimos años, con el aumento de los precios y escasez de los productos destinados a la alimentación de los rumiantes, se observa un creciente interés por el uso de alimentos alternativos como residuos agrícolas y subproductos agroindustriales, utilizados para alimentar el ganado, tanto en producción de carne como de leche, disminuyendo así los costos de alimentación.

54. Fotos de izquierda a derecha. 1. Elaboración y conservación de forrajes. Víctor Basurto, México.  
2. Alimentación de Vacas Lecheras con silos. PERULACTEA, Perú.

## ¿CUÁLES SON SUS BENEFICIOS?



## ¿CUÁLES ZONAS AGROECOLÓGICAS Y AGROECOSISTEMAS TIENEN MAYOR POTENCIAL DE APLICACIÓN?

En todas las zonas de América Latina y el Caribe, donde se presenten períodos de sequía marcados o inviernos fríos que no permiten el crecimiento de los forrajes. Existe un mayor potencial de aplicación en sistemas mixtos: cultivos-animales.

## ¿CÓMO CONTRIBUYE A REDUCIR LA VULNERABILIDAD AL CAMBIO CLIMÁTICO?

Existe una gran diversidad de residuos de cultivos y subproductos agroindustriales en toda América Latina y el Caribe, los que si no se usan directamente o procesados crean problemas de contaminación de fuentes de agua y suelos, y eventualmente provocan más emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) como consecuencia de su descomposición. Para contrarrestar estos efectos, se pueden usar como materia orgánica en suelos o como alimentos para el ganado. Los de tipo fibroso se usan como fuente de forraje en períodos de escasez de forraje, pero también hay subproductos agroindustriales de alto valor nutricional, como por ejemplo, las tortas de oleaginosas, los residuos de molinería y el pilado del arroz, así como la melaza de caña, que se usan como suplementos para el ganado; pero hay otros que no tienen tan alto valor nutricional, pero que pueden usarse como complemento a otros alimentos y de esa manera ayudan a reducir la vulnerabilidad en los sistemas de producción animal.

## ¿CÓMO SE ESTABLECE?

Una vez que el usuario vea oportunidades para el uso de un residuo de cosecha o subproducto agroindustrial que considera puede ser utilizado como alimento para el ganado, se sugiere visitar el sitio web de Feedpedia <https://www.feedipedia.org/>, donde instituciones francesas (CIRAD, AFZ e INRA) y la FAO han establecido un Sistema de Información sobre Recursos Alimenticios para el Ganado, el mismo que contiene información nutricional de casi 1400 alimentos diferentes (residuos de cultivos, subproductos agro-industriales y forrajes), no solo desde el punto de vista de su descripción, composición química, digestibilidad y consumo por diferentes especies animales, sino también sobre su distribución y contribución potencial al ambiente. Luego, el usuario debe buscar información sobre su disponibilidad a lo largo o en ciertos períodos del año, la producción por unidad de área para tener idea de los volúmenes que se puede contar en una finca particular, sus limitaciones de uso en fresco o preservado, las necesidades de conservación y sobre esa base planear su utilización para la alimentación animal (Wanapat, 2009).

## ¿CUÁLES SON LOS REQUERIMIENTOS PARA SU IMPLEMENTACIÓN?

En el Cuadro 1 se pueden ver algunos de estos requerimientos y su nivel de costos tanto en la preparación como en la utilización.

**Cuadro 1.** Requerimientos para su implementación.

Requerimiento	Establecimiento*	Mantenimiento*
Mano de obra	1 a 2	1
Inversión o capital	1 a 2	1
Infraestructura	1 a 2	1 a 2
Maquinaria	1	1
Insumos biológicos	1**	1**

\*Nivel de costo: 1=bajo, 2=medio, 3=alto

\*\* Puede necesitarse para mejorar su potencial de uso

## ¿QUÉ OTROS BENEFICIOS Y COBENEFICIOS APORTA ESTA PRÁCTICA?

### Beneficios esperados en la producción agrícola y/o pecuaria.

El uso de los residuos de cultivo o subproductos agroindustriales de tipo fibroso puede contribuir a mantener la estabilidad de la producción animal, reduciendo las pérdidas bioeconómicas en los períodos de escasez de forraje o condiciones de clima extremo que no permiten que los animales pastoreen; en cambio hay otros especialmente subproductos agroindustriales con mayor valor nutritivo que pueden ayudar a mejorar la eficiencia en el uso de otros alimentos. La colecta de los residuos de cultivo, fuera de las parcelas de producción, supone la exportación de nutrientes del sistema, los mismos que deben ser repuestos para asegurar que la fertilidad del suelo no se vea afectada.

El Cuadro 2 presenta los cobeneficios principales en la dimensión socioeconómica y en la dimensión ambiental.

**Cuadro 2.** Cobeneficios esperados con el uso de residuos de cosecha y residuos agroindustriales.

Socioeconómicos	Nivel o grado*	Ambientales	Nivel o grado*
Diversificación de la producción	2	Conservación de agua	1
Estabilidad en la producción	2	Conservación de biodiversidad	1
Empleo	1 a 2	Conservación de suelo	1
Seguridad alimentaria	2 a 3	Reducción de GEI	2 a 3
Ingreso	1 a 2	Captura de carbono	NA

\*Nivel de beneficios: 1=bajo, 2=medio, 3=alto

\*NA= no aplica

## REFERENCIAS

Devendra, C. Leng, R.A. 2011. Feed Resources for Animals in Asia: Issues, Strategies for Use, Intensification and Integration for Increased Productivity. *Asian-Australasian Journal of Animal Science* 24: 303 - 321.

Feedpedia. 2009. Animal feed resources information system. INRA, AFZ, CIRAD, FAO. (<https://www.feedipedia.org/>. Consultado en línea 18 agosto 2017).

Fujisaka, S.; Holmann, F.; Peters, M.; Schmidt, A.; White, D.; Burgos, C.; Ordoñez, J.C.; Mena, M.; Posas, M.I.; Cruz, H.; Davis, C.; Hincapié, B. 2005. Estrategias para minimizar la escasez de forrajes en zonas con sequías prolongadas en Honduras y Nicaragua. *Pasturas Tropicales* 27:73-92.

Salem, H.B.; Smith, H. 2008. Feeding strategies to increase small ruminant production in dry environments. *Small Ruminant Research* 77: 174-194.

Wanapat, M. 2009. Potential uses of local feed resources for ruminants. *Tropical Animal Health and Production* 41: 1035. (<https://doi.org/10.1007/s11250-008-9270-y>. Consultado en línea 15 agosto 2017).



## Secretaría Técnica Administrativa



Con el apoyo de:



[www.fontagro.org](http://www.fontagro.org)

FONTAGRO  
Banco Interamericano de Desarrollo  
1300 New York Avenue, NW, Stop  
W0502, Washington DC 20577  
Correo electrónico: [fontagro@iadb.org](mailto:fontagro@iadb.org)