

Buenas prácticas
para el establecimiento y
desarrollo de un modelo de
producción de marañón bajo
en carbono en la región de la
altillanura colombiana

AGROSAVIA

Corporación colombiana de investigación agropecuaria



Biocarbono

Paisajes sostenibles bajos en carbono



Entidades Socias



Agricultura



Ambiente



Instituto de Hidrología,
Meteorología y
Estudios Ambientales

Asesora



Departamento Nacional
de Planeación - **DNP**

Apoyan



Agencia Presidencial de
Cooperación Internacional
de Colombia - **APC Colombia**



NORECCO

Nodo Regional
de Cambio Climático
Orinoquia

El proyecto hace parte de la iniciativa Paisajes Forestales Sostenibles (ISF) del Fondo Biocarbono



BioCarbon Fund
Initiative for Sustainable Forest Landscapes

Buenas prácticas
para el establecimiento y
desarrollo de un modelo de
producción de marañón bajo
en carbono en la región de la
altillanura colombiana

AGROSAVIA

Corporación colombiana de investigación agropecuaria



Biocarbono

Paisajes sostenibles bajos en carbono



Buenas prácticas para el establecimiento y desarrollo de un modelo de producción de marañón bajo en carbono en la región de la altillanura colombiana. / Carmen Alicia Parrado Moreno [y otros seis] - Mosquera, (Colombia): AGROSAVIA, 2024.

89 páginas (Colección Alianzas AGROSAVIA)

Incluye referencias bibliográficas, ilustraciones y gráficos.

ISBN e-Book: 978-958-740-755-6

1. *Anacardium occidentale* 2. Paisaje agrícola 3. Ordenación territorial 4. Recursos del suelo 5. Fertilidad del suelo 6. Siembra 7. Establecimiento de plantas 8. Vichada (Colombia).

Palabras clave normalizadas según Tesauro Multilingüe de Agricultura -Agrovoc
Catalogación en la publicación – Biblioteca Agropecuaria de Colombia

Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA)

Sede Central, Kilómetro 14 vía Mosquera-Bogotá, Mosquera, Cundinamarca. Código postal 250047, Colombia.

Centro de Investigación La Libertad, Kilómetro 17 vía Puerto López-Meta, Meta. Código postal 502007, Colombia.

Esta publicación hace parte de los trabajos de AGROSAVIA dentro de la iniciativa Paisajes Forestales Sostenibles (ISF) del Fondo Biocarbono, Consultoría 055-2022 “Crear condiciones habilitantes para el desarrollo de agroecosistemas sostenibles bajos en carbono para el cultivo del marañón bajo esquemas de producción - conservación en la altillanura colombiana”

Colección: Alianzas AGROSAVIA
Tipología: Cartilla

Fecha de recepción: 18 de abril de 2024
Fecha de evaluación: 5 de junio de 2024
Fecha de aceptación: 21 de junio de 2024

Primera edición: septiembre de 2024

Autores

Carmen Alicia Parrado Moreno
Diana Mayerly Mateus Cagua
Diana Elisa Correa Pinilla
Andrés Javier Peña Quiñones
Jaime Humberto Bernal Riobo
Sandra Xiomara Pulido Castro
Laura Victoria Arango Wiesner

Preparación editorial

Editorial AGROSAVIA
editorial@agrosavia.co
Líder editorial: Astrid Verónica Bermúdez Díaz
Edición: Verónica Barreto Riveros
Diseño y diagramación: Kilka Diseño Gráfico

Citación sugerida: Parrado, C. A., Mateus-Cagua, D. M., Correa-Pinilla, D. E., Peña Quiñones, A. J., Bernal-Riobo, J. H., Pulido Castro, S. X., & Arango-Wiesner, L. V. (2024). *Buenas prácticas para el establecimiento y desarrollo de un modelo de producción de marañón bajo en carbono en la región de la altillanura colombiana*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA). <https://doi.org/10.21930/agrosavia.nbook.7407556>

Cláusula de responsabilidad: AGROSAVIA no es responsable de las opiniones ni de la información recogidas en el presente texto. Los autores asumen de manera exclusiva y plena toda responsabilidad sobre su contenido, ya sea este propio o de terceros, y declaran, en este último supuesto, que cuentan con la debida autorización de terceros para su publicación; igualmente, declaran que no existe conflicto de interés alguno en relación con los resultados de la investigación propiedad de tales terceros. En consecuencia, los autores serán responsables civil, administrativa o penalmente, frente a cualquier reclamo o demanda por parte de terceros relativa a los derechos de autor u otros derechos que se hubieran vulnerado como resultado de su contribución.

Línea de atención al cliente: 018000121515
atencionalcliente@agrosavia.co
www.agrosavia.co



<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Presidente de la República de Colombia

Gustavo Francisco Petro Urrego

Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR)

Martha Viviana Carvajalino

Ministra de Agricultura y Desarrollo Rural

Polivio Leandro Rosales Cadena

Viceministro de Desarrollo Rural

Lilia María Rodríguez Albarracín

Viceministra de Asuntos Agropecuarios

Santos Alonso Beltrán Beltrán

Director de Innovación, Desarrollo Tecnológico y
Protección Sanitaria

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible

Susana Muhamad

Ministra de Ambiente y Desarrollo Sostenible

Mauricio Cabrera Leal

Viceministra de Políticas y Normalización Ambiental

Lilia Tatiana Roa Avendaño

Viceministra de Ordenamiento Ambiental del
Territorio.

María Saralux Valbuena López

Directora de Cambio Climático y Gestión del Riesgo

Proyecto Biocarbono Orinoquia

Iván Darío Gómez Guzmán

Coordinador Nacional del Proyecto

Fabián Mauricio Gerena Reina

Líder del componente Planeación Integrada del
Uso del Suelo y Gobernanza para el Control a la
Deforestación

Daniel Alberto Aguilar Corrales

Fernando Leyva (2023)

Líder componente Uso y Manejo Sostenible del Suelo

Johana Talina Lugo Rosero

Líder del componente Definición del Programa de
Reducción de Emisiones (PRE) y de Monitoreo, Reporte
y Verificación (MRV)

Juan David Turriago

Redactor ERP

Javier Rodríguez Dueñas

Coordinador Regional

Lilia Patricia Arias Duarte

Gestor Sénior Seguimiento y Monitoreo

Pedro Miguel Salazar

Susana Sandoval González

Sabrina Andrea Acosta Angarita

Mónica Monsalvo Torres

Especialistas

Edwin Fernando Forero Palomino

Consultor y supervisor del contrato

Natalia Andrea Niño Pinilla

Estiven Rojas Roncancio

Profesionales SIG

Gandy Alarcón Montero

Asesor jurídico

Fabián Peña

Juliana Fonseca

Equipo de Comunicaciones

Contenido

Introducción	6
Presentación	8
Glosario	9
Módulo I. Conceptos básicos	25
Módulo II. Buenas prácticas en la planificación de agroecosistemas de marañón bajos en carbono	32
Gestión local de información climática	33
Gestión del recurso suelo	39
Planificación predial y productiva	42
Gestión del material de siembra	45
Módulo III. Buenas prácticas para la gestión integrada del cultivo del marañón	48
Gestión para el establecimiento	49
Gestión de la nutrición	50
Gestión integrada de plagas y enfermedades	51
Gestión de arvenses	52
Manejo de podas	52

Módulo IV. Buenas prácticas de cosecha y procesamiento de marañón	56
Conceptualización	57
Aspectos a tener en cuenta	57
Módulo V. Gestión técnica, administrativa y financiera	59
Conceptualización	60
Herramientas técnicas	60
Herramientas administrativas	61
Herramientas financieras	61
Módulo VI. Ecoeficiencia	64
Indicadores de desempeño ambiental	65
Indicadores de desempeño productivo	70
Guías resumen de buenas prácticas para el establecimiento y desarrollo de un modelo de producción de marañón bajo en carbono en la región de la altillanura colombiana	75
Referencias	82
Agradecimientos	90
Autores	91

Introducción

Esta cartilla hace parte de los resultados de la consultoría ejecutada por AGROSAVIA y WCS, que tuvo como fin crear condiciones habilitantes para el desarrollo de agroecosistemas sostenibles bajos en carbono para el cultivo del marañón bajo esquemas producción-conservación en la altillanura colombiana, en el marco del Proyecto Biocarbono Orinoquia, Paisajes sostenibles bajos en carbono - Banco Mundial - Convenio de Donación BIRF TF-A6376. Esta publicación tiene como propósito presentar un conjunto de mejores prácticas conducentes a consolidar agroecosistemas de marañón bajos en carbono, de tal forma que los actores de la cadena tomen decisiones informadas a partir del uso de esta herramienta.

La construcción del documento inició con el desarrollo de talleres participativos con productores, técnicos y representantes de la institucionalidad, con quienes se discutieron diferentes prácticas para la gestión del cultivo que podrían contribuir a la emisión o reducción de gases efecto invernadero (GEI) en la altillanura colombiana. Con esta información, la evidencia científica reportada en documentos de investigación de otros países y el conocimiento existente en el territorio, se consolidó esta cartilla.

Los módulos asociados a mejores prácticas para la gestión integral de los

agroecosistemas cuentan con seis secciones, cuyo objetivo es aportar a la competitividad de la cadena de valor. Estos inician con una presentación de la base conceptual del modelo de marañón bajo en carbono, a través del cual se propone incrementar la biodiversidad funcional para contribuir a la obtención de paisajes resilientes y a agroecosistemas con mejor desempeño ambiental y productivo. Posteriormente, se presentan los módulos de buenas prácticas en la planificación del agroecosistema, en la gestión integrada del cultivo, así como en la cosecha y poscosecha de marañón. Se proponen prácticas transversales a las etapas y eslabones de la cadena, que, de realizarse, conducirán a la aplicación de un sistema de gestión integral para la toma de decisiones técnicas, identificación de necesidades y optimización de los recursos e innovación en el negocio (gestión técnica, gestión administrativa y financiera, y desempeño productivo y ambiental). Finalmente, la escalabilidad de estas prácticas podría requerir diferentes incentivos que son mencionados en el documento, y que ofrecen oportunidades para la construcción de políticas base para la generación de paisajes sostenibles en el territorio.

Cada uno de los módulos propuestos busca atender y dar respuesta a las necesidades específicas identificadas

y priorizadas a través de la implementación de la consultoría y la interacción con productores, extensionistas y asistentes técnicos de la región, que al ser

incorporadas en los itinerarios técnicos contribuirán al almacenamiento del carbono y a la disminución de los procesos de su reemisión desde el suelo.



Foto: Xiomara Pulido

Presentación

El proyecto Biocarbono Orinoquia tiene como objetivo mejorar las condiciones para la planificación y gestión de paisajes sostenibles con bajas emisiones de carbono en la región de la Orinoquia, con la finalidad de diseñar el Programa de Reducción de Emisiones de gases de efecto invernadero (PRE) para Colombia. La implementación de esta iniciativa contribuye al trabajo que el país está realizando para alcanzar una agricultura climáticamente inteligente, a la adaptación y mitigación del cambio climático, y a la meta de Colombia de reducir en un 51 % sus emisiones de gases de efecto invernadero para el 2030.

Este proyecto se lleva a cabo en los departamentos de Arauca, Casanare, Meta y Vichada, como parte de la iniciativa global Paisajes Forestales Sostenibles (ISFL), a través del Fondo Biocarbono del Banco Mundial, y es financiado por Reino Unido, Alemania, Estados Unidos

y Noruega. El liderazgo en la ejecución del Proyecto Biocarbono Orinoquia está a cargo del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural y del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.

La estructura del proyecto tiene tres componentes que abordan los siguientes temas: 1) Planificación del uso del suelo y gobernanza para controlar la deforestación; 2) Uso y manejo sostenible del suelo, y 3) Preparación del Programa de Reducción de Emisiones y Monitoreo, Reporte y Verificación (MRV).

Esta cartilla tiene como propósito presentar un conjunto de mejores prácticas conducentes a consolidar agroecosistemas de marañón bajos en carbono, de tal forma que los actores de la cadena de marañón tomen decisiones informadas a partir del uso de esta herramienta.

Agradecemos a todos los colaboradores y aliados que hicieron posible la realización de esta publicación.



Glosario

Foto: Xiomara Pulido

Acciones de logística: hace referencia a todas las actividades y procesos en la cadena de suministro necesarios para adecuar la oferta de productos del campo con la demanda del mercado de esos productos. Comprende las etapas de producción, recolección y acopio, alistamiento y almacenamiento, hasta el transporte, distribución y consumo (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Rural [MADR], 2020).

Adaptación: en los sistemas humanos, es el proceso de ajuste al clima real o proyectado y sus efectos, a fin de moderar los daños o aprovechar las oportunidades beneficiosas. En los sistemas naturales, se trata del proceso de ajuste al clima real y sus efectos, a cuyo ajuste puede contribuir la intervención humana (Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC], 2018).

Agricultura climáticamente inteligente: la ACI es un enfoque que ayuda a encauzar las medidas necesarias para transformar y reorientar los sistemas agrícolas, con el fin de respaldar con eficacia el desarrollo y lograr la seguridad alimentaria en el marco del cambio climático. Procura alcanzar tres objetivos principales: el aumento sostenible de la productividad y los ingresos en el sector agrícola, la adaptación y la creación de resiliencia ante el cambio climático, y la reducción o remoción de las emisiones de gases de efecto invernadero en la

medida de lo posible (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], s. f.).

Agricultura de conservación: conjunto coherente de prácticas de agronomía y de gestión del suelo que reducen la alteración de la estructura del suelo y la biota (IPCC, 2018).

Agroclimatología: ciencia que estudia la relación entre la agricultura y los fenómenos y procesos del clima. Tiene dos objetivos principales: 1) profundizar en el conocimiento de las relaciones entre el clima y la actividad agrícola, tanto sobre los cultivos como sobre los métodos y técnicas utilizadas, y 2) proporcionar las bases científicas necesarias para optimizar la toma de decisiones en la planificación agrícola. En este sentido, la información se transmite a los agricultores, a corto y mediano plazo, y a los diferentes organismos responsables de la ordenación agrícola, a mediano y largo plazo (Hernández, 1993).

Agroecosistema: ecosistema modificado por el ser humano, que interactúa con factores socioeconómicos y tecnológicos para la utilización de los recursos naturales con fines de producción para la obtención de alimento y servicios en beneficio de la sociedad. Surge como un subsistema del sistema ecológico, el cual tiene como propósito fundamental la producción de bienes y servicios (Hart, 1985).

Almacenamiento de carbono: proceso mediante el cual se incrementa el carbono orgánico del suelo en el tiempo, sin excluir ningún tipo de fracción (gruesa, mediana o fina), y que depende directamente del secuestro de C y de la capacidad de sumidero de cada tipo de suelo (Chenu et al., 2019).

Bienes y servicios ambientales: productos o servicios de la naturaleza que responden a un deseo o una demanda de ciertos grupos de personas, comunidades o empresas que originan las diversas posibilidades de uso directo o indirecto, sin afectar el mejoramiento sostenible de las condiciones del medio ambiente. Los bienes ambientales son recursos tangibles que brinda la naturaleza, los cuales son utilizados de manera directa por el ser humano como insumos en la producción o en el consumo, de modo que se transforman en el proceso, mientras que los servicios ambientales se asocian a las funciones ecosistémicas que utiliza el ser humano indirectamente, generando utilidad y que no se transforman en el proceso (Hernández et al., 2013).

Bienestar: en los ecosistemas, el bienestar hace referencia a la capacidad de los ecosistemas para mantener su diversidad y calidad (IPCC, 2018).

Biocarbón: es carbón de grano fino altamente poroso, que se ha producido

en condiciones de oxígeno limitado utilizando biomasa orgánica que optimiza ciertas características especiales como una gran superficie y porosidad y la capacidad de conservarse en los suelos durante mucho tiempo con muy poco deterioro biológico. Se diferencia de otros carbones porque es posible utilizarlo como enmienda del suelo. Debido a la gran superficie y las características porosas del biocarbón, puede retener nutrientes y agua y también optimizar las actividades microbianas del suelo para mejorar su salud en comparación con otras enmiendas (Rahman et al., 2020).

Biodiversidad: variabilidad entre los organismos vivos de todas las fuentes, incluidos los ecosistemas terrestres, marinos y otros ecosistemas acuáticos y los complejos ecológicos de los que forman parte. Esto incluye la diversidad dentro de las especies, entre las especies y de los ecosistemas. En la práctica, el término biodiversidad se ha convertido en sinónimo de todos los seres vivos (es decir, de la riqueza y variedad de la vida en la Tierra) (Organización de las Naciones Unidas [ONU], 1992b).

Biodiversidad funcional: se refiere a parte de toda la biodiversidad que hace una contribución directa a la producción agrícola (Kleijn et al., 2019).

Biofertilizante: preparado de microorganismos aplicado al suelo o la plan-

ta con el fin de sustituir parcial o totalmente la fertilización sintética, así como disminuir la contaminación generada por los agroquímicos. Aunque se encuentran microorganismos que, además de contribuir al crecimiento de plantas, también inhiben los efectos de patógenos, los microorganismos que se utilizan en los biofertilizantes se clasifican en dos grupos: 1) los que tienen la capacidad de sintetizar sustancias que promueven el crecimiento de la planta, fijando nitrógeno atmosférico, solubilizando hierro y fósforo inorgánico y mejorando la tolerancia de la planta al estrés por sequía, salinidad, metales tóxicos y exceso de pesticidas, y 2) los que son capaces de disminuir o prevenir los efectos de deterioro de microorganismos patógenos (Armenta-Bojórquez et al., 2010).

Biofertilización: uso de diversos microorganismos para suplir la necesidad de nutrientes que fertilicen el suelo.

Biomasa: para la Unión Europea (citado por Cerdá, 2012) es aquella fracción biodegradable de productos, desechos y residuos de la agricultura (incluyendo sustancias vegetales y animales), silvicultura e industrias relacionadas, así como de los residuos municipales e industriales, mientras que la OCDE (1998) señala que es aquella cantidad de materia viva de origen vegetal o animal presente en un momento dado en un área determinada.

Cadena de suministro: La cadena de suministro comprende el flujo de toda la información, productos, materiales y fondos entre las diferentes etapas de creación y venta de un producto (Dubey, Singh, Sinng & Mishra, 2020).

Cadena de valor: conjunto de actividades que se requieren para llevar un producto o servicio desde su concepción, a través de las diferentes fases de producción, distribución y disposición final después de su uso, el cual gana valor cuando pasa de un actor de la cadena a otro. Además, es una herramienta que suele utilizarse para desagregar un negocio en actividades principales e identificar fuentes de ventaja competitiva (Porter, 1985).

Calentamiento global: aumento estimado de la temperatura media global en superficie promediada durante un periodo de 30 años, o durante el periodo de 30 años centrado en un año o decenio particular, expresado en relación con los niveles preindustriales, a menos que se especifique de otra manera. Para los periodos de 30 años que abarcan años pasados y futuros, se supone que continúa la actual tendencia de calentamiento multidecenal (IPCC, 2018).

Cambio climático: cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera global y que se suma a la variabilidad natural del

clima observada durante periodos de tiempo comparables (ONU, 1992a).

Carbono orgánico del suelo (COS): pequeña parte del ciclo global del carbono, el cual implica el ciclo del carbono a través del suelo, la vegetación, el océano y la atmósfera. Se estima que la reserva de COS almacena 1.500 PgC en el primer metro de suelo, lo cual supone más carbono que el contenido en la atmósfera (aproximadamente 800 PgC) y la vegetación terrestre (500 PgC) combinados. Este reservorio de COS no es estático, sino que está constantemente circulando entre las diferentes reservas mundiales de carbono en diversas formas moleculares, con el CO_2 y CH_4 como los principales gases atmosféricos basados en carbono, organismos autótrofos (principalmente plantas) y microbios foto y quimioautótrofos que sintetizan el CO_2 atmosférico en material orgánico. El material orgánico muerto (principalmente en forma de residuos vegetales y exudados) es incorporado al suelo por su propia fauna, lo que conlleva la entrada de carbono en el suelo a través de la transformación del material orgánico por microorganismos heterótrofos. El proceso de transformación de materiales orgánicos da como resultado una mezcla biogeoquímica compleja de residuos vegetales y productos de descomposición microbiana en varias etapas de descomposición, que

pueden asociarse con minerales del suelo y ocluirse dentro de agregados, permitiendo la persistencia del COS en el suelo durante décadas, siglos o incluso milenios (FAO, 2017).

Ciclo del carbono: proceso que describe el flujo de carbono (en forma de, por ejemplo, CO_2 , carbono en la biomasa y carbono disuelto en el océano como carbonato y bicarbonato) en la atmósfera, la hidrosfera, la biosfera terrestre y marina y la litosfera (IPCC, 2018).

Ciclo hidrológico: ciclo en virtud del cual el agua se evapora de los océanos y de la superficie de la Tierra, es transportada sobre la tierra por la circulación atmosférica en forma de vapor de agua, se condensa para formar nubes, se precipita en forma de lluvia o nieve, que sobre la tierra puede ser interceptada por los árboles y la vegetación, se puede acumular en forma de nieve o hielo, genera escorrentía en la superficie terrestre, se infiltra en los suelos, recarga las aguas subterráneas, afluye a las corrientes fluviales, desemboca en los océanos y, en la etapa final, se evapora nuevamente de los océanos o de la superficie de la Tierra. Los distintos sistemas que intervienen en el ciclo hidrológico suelen denominarse sistemas hidrológicos (IPCC, 2018).

Clima: estado promedio del tiempo y, más rigurosamente, descripción es-

tadística del tiempo atmosférico en términos de los valores medios y de la variabilidad de las magnitudes correspondientes durante periodos que pueden abarcar desde meses hasta miles o millones de años. El periodo de promedio habitual es de 30 años, según la definición de la Organización Meteorológica Mundial. Las magnitudes son casi siempre variables de superficie (p. ej., temperatura, precipitación o viento) (IPCC, 2018).

Compactación: disminución de la macroporosidad del suelo y aumento de su microporosidad, que genera una mayor resistencia a la penetración de las raíces de las plantas del suelo (FAO, 2016). La compactación del suelo, debido al colapso o disminución de los espacios de poros, es la causa más común de restricción física para el crecimiento y desarrollo de las raíces, la cual puede ser identificada mediante la medición de la densidad aparente y la resistencia a la penetración (Jaramillo, 2002). La compactación del suelo puede disminuir el rendimiento agrícola hasta un 60 %, lo cual se debe a la mala gestión agrícola (80 %) y el sobrepastoreo (16 %).

Competitividad: situación que se logra ampliando los horizontes del mercado en que actúan empresas, industrias, regiones o áreas geográficas, lo cual genera valor a través de la innovación (Benítez, 2012).

Cuenca hidrográfica: zona geográfica drenada por una corriente de agua (FAO, 2009).

Cultivo de cobertura: cultivo sembrado entre dos cultivos comerciales para suprimir malezas, mejorar la fertilidad del suelo y reducir la presión de plagas, y que generalmente no se cosecha (Kleijn et al., 2019) o se cosecha e incorpora en el suelo.

Cultivo de servicio: plantas que se cultivan con un propósito (es decir, un servicio) distinto de sus productos cosechados. Por ejemplo, los cultivos de cobertura desempeñan un papel en la reducción de la erosión del suelo, la mejora de la salud del suelo, la mejora de la calidad del agua al reducir las pérdidas de suelo y nutrientes, y la alteración de la abundancia, actividad y diversidad microbiana del suelo (Van Eerd et al., 2022).

Dióxido de carbono (CO₂): gas de origen natural que también es un subproducto de la quema de combustibles fósiles (como el petróleo, el gas y el carbón), de la quema de biomasa, de los cambios de uso de la tierra y de procesos industriales (p. ej., la producción de cemento). Es el principal gas de efecto invernadero (GEI) antropógeno que afecta el equilibrio radiactivo de la Tierra. Es el gas utilizado como referencia para medir otros GEI, por lo que su potencial de calentamiento global (PCG) es igual a 1 (IPCC, 2019).

Ecoeficiencia: herramienta de gestión cuantitativa para analizar la relación entre los aspectos económicos y ambientales de una actividad. Permite evaluar y promover la producción sostenible en los negocios, ya que su objetivo es ofrecer “bienes y servicios a precios competitivos que satisfagan las necesidades humanas y mejoren la calidad de vida mientras reducen progresivamente los impactos ambientales de los bienes y la intensidad de los recursos a lo largo de todo el ciclo de vida a un nivel por lo menos en línea con la capacidad de carga estimada de la Tierra” (World Business Council for Sustainable Development [WBCSD], 2006).

Ecosistema: unidad que incluye todos los organismos de un área determinada que interactúan con el medio físico, de manera que un flujo de energía conduce al intercambio de materiales entre las partes vivas y no vivas del sistema (Odum, 1969).

Emisión de CO₂ equivalente (CO₂ eq): cantidad de emisión de dióxido de carbono (CO₂) que causaría el mismo forzamiento radiactivo integrado o cambio de temperatura, en un plazo dado, que cierta cantidad emitida de un GEI o de una mezcla de GEI. Hay varias maneras de calcular esas emisiones equivalentes y de elegir los plazos adecuados. La emisión de CO₂ equivalente suele calcularse habitualmente multiplicando la emisión

de un GEI por su potencial de calentamiento global (PCG) en el plazo de 100 años. En el caso de las mezclas de GEI, se suman las emisiones de CO₂ equivalente correspondientes a cada gas. La emisión de dióxido de carbono equivalente constituye una escala común para comparar las emisiones de diferentes GEI, aunque no implica una equivalencia exacta en las respuestas correspondientes en términos de cambio climático (IPCC, 2019).

Enemigos naturales: conjunto de depredadores y parasitoides naturales de plagas de cultivos (Kleijn et al., 2019).

Escorrentía: flujo de agua que se produce en la superficie o por debajo de la superficie del terreno, que generalmente se origina a partir de una precipitación o el derretimiento de nieve o hielo que no se evapora ni se congela nuevamente, y que no es transpirada (IPCC, 2018).

Entisol: suelo con poca o ninguna señal de diferenciación de horizontes. La mayoría de los entisoles son básicamente inalterados de sus materiales originales, pero pueden verse afectados hasta cierto punto por los procesos de translocación y la materia orgánica oscurece considerablemente la superficie del suelo. Están distribuidos en una amplia área geográfica y se pueden encontrar en cualquier clima y bajo cualquier vegetación. A menudo se cultivan de forma intensi-

va a lo largo de las llanuras aluviales de los ríos y son algunos de los suelos más productivos para la agricultura del mundo. Se utilizan sobre todo para pastos, pastizales y bosques y ocupan alrededor del 16 % de la superficie mundial. Los entisoles tienen cuatro subórdenes: aquents, arents, fluvents y psamments (Osman, 2013).

Estructura del suelo: disposición de las partículas del suelo en diferentes patrones geométricos. Se clasifica en diferentes tipos de forma, clases de tamaño y grados de estabilidad. La estructura del suelo es susceptible. La textura y la estructura del suelo juntas regulan la porosidad, la densidad, la compacidad, la retención y el movimiento del agua y el aire en el suelo (Osman, 2013).

Gas de efecto invernadero (GEI): componente gaseoso de la atmósfera, natural o antropógeno, que absorbe y emite radiación en determinadas longitudes de onda del espectro de radiación terrestre emitida por la superficie de la Tierra, por la propia atmósfera y por las nubes. Esta propiedad ocasiona el efecto invernadero. El dióxido de carbono (CO_2), el óxido nitroso (N_2O) y el metano (CH_4) son los gases de efecto invernadero primarios de la atmósfera terrestre. Asimismo, la atmósfera contiene cierto número de gases de efecto invernadero enteramente antropógeno,

como los halocarbonos u otras sustancias que contienen cloro y bromo, y están contemplados en el Protocolo de Montreal. Además del CO_2 , el N_2O y el CH_4 , el Protocolo de Kyoto contempla los gases de efecto invernadero: hexafluoruro de azufre (SF_6), los hidrofluorocarbonos (HFC) y los perfluorocarbonos (PFC) (IPCC, 2018).

Gestión integrada de los recursos hídricos: proceso que promueve el desarrollo y la gestión coordinados de los recursos hídricos, de la tierra y afines para optimizar el bienestar económico y social equitativamente, sin amenazar la sostenibilidad de los ecosistemas vitales (IPCC, 2018).

Gobernanza: gama de medios existentes para acordar, gestionar, aplicar y supervisar políticas y medidas, que reconocen la contribución de los distintos niveles de gobierno (mundial, internacional, regional, subnacional y local), así como la función del sector privado, los actores no gubernamentales y la sociedad civil al abordar los numerosos tipos de cuestiones a que se enfrenta la comunidad mundial (IPCC, 2018).

Huella ambiental: medida cuantitativa que muestra la apropiación de los recursos naturales por parte de los humanos e incluye la huella de carbono, hídrica, ecológica, de energía y de nitrógeno (Hoekstra, 2008)

Humedad del suelo: agua almacenada en el suelo en forma líquida o congelada. En la zona radicular, reviste suma importancia para la actividad de las plantas.

Impacto ambiental: cambio en el medio ambiente, ya sea adverso o beneficioso, como resultado total o parcial de los aspectos ambientales de una actividad o de una organización (ISO 14001, 2015).

Impacto climático: consecuencias de los riesgos materializados en los sistemas humanos y naturales, donde los riesgos provienen de las interacciones entre los peligros relacionados con el clima (incluidos los fenómenos meteorológicos y climáticos extremos), la exposición y la vulnerabilidad. Los impactos generalmente se refieren a efectos en las vidas, medios de subsistencia, salud y bienestar, ecosistemas y especies, bienes económicos, sociales y culturales, servicios (incluidos los servicios ecosistémicos) e infraestructuras. También pueden denominarse consecuencias o resultados, y pueden ser adversos o beneficiosos (IPCC, 2018).

Inceptisol: suelo que exhibe solo el comienzo del desarrollo del perfil, débilmente desarrollado, ya que tiene mínima diferenciación de horizontes. Los inceptisoles están más desarrollados que los entisoles y carecen de muchas características de los suelos

maduros. Pueden tener muchos tipos de horizontes de diagnóstico, excepto los horizontes argílico, nátrico, kándico, espódico y óxico. La secuencia de horizontes más común es un epipedón ócrico sobre un horizonte cámbico, con o sin un fragipán subyacente. Típicamente tienen un horizonte cámbico, pero no se requiere uno si el suelo tiene un epipedón mólico, úmbrico, hístico o plaggen, o si hay un fragipán o duripán o cualquier horizonte plácico, cálcico, petrocálcico, gípsico, petrogípsico, sálico o sulfúrico. Los inceptisoles son suelos de regiones húmedas y subhúmedas, están ampliamente distribuidos y ocurren en una amplia gama de entornos ambientales. A menudo se encuentran en pendientes bastante empinadas, superficies geomórficas jóvenes, sitios húmedos y en materiales parentales resistentes. Tienen seis subórdenes: anthrepts, aquepts, cryepts, udepts, ustepts y xerepts (Osman, 2013).

Intensificación ecológica: conjunto de prácticas que determinan alternativas para restaurar las funciones del agroecosistema; a partir del incremento de las interrelaciones entre los componentes estructurales o procesos ecológicos, se aumenta su capacidad de recuperación y autonomía (Landis, 2017). Además, el concepto de intensificación ecológica se afianza en la aplicación de los proce-

tos ecológicos hacia la prestación de múltiples servicios ecosistémicos en agroecosistemas (Hatt et al., 2018).

Materia orgánica del suelo (MOS): mezcla heterogénea de diversos materiales orgánicos en diversas etapas de descomposición. Es un elemento esencial del suelo que afecta el estado y el funcionamiento de otros de sus componentes. La mayoría de los suelos minerales contienen menos del 5 % por peso de MOS y los suelos tropicales como oxisoles tienen bajos contenidos de materia orgánica (alrededor del 2 %). Existen tres categorías de MOS y se clasifican sobre la base de las etapas de descomposición: materia orgánica fresca o sin descomponer, parcialmente descompuesta y completamente descompuesta. La primera incluye hojas, ramitas, ramas, flores, frutas y tejidos de animales muertos recién caídos; para efectos prácticos, incluye materiales cuyo origen y estructura pueden identificarse (comprende alrededor del 10 % del total de MOS). La MOS parcialmente descompuesta incluye residuos orgánicos que han sufrido descomposición en un grado considerable, cuya estructura y origen pueden o no estar identificados; consiste en detritos en descomposición gradual y tejidos vegetales y animales parcialmente descompuestos (comprende alrededor del 10 al 40 % de la MOS). Junto con el componente

anterior, constituyen la “materia orgánica activa del suelo”, porque puede ser atacada por los organismos para ser utilizada como alimento y energía. Finalmente, la materia orgánica completamente descompuesta o humus produce CO_2 y agua con algunas bases. El humus se puede definir como una materia orgánica coloidal, amorfa, de color marrón a negro, que se ha descompuesto a tal punto que la descomposición posterior es muy lenta. Está formado por complejos orgánicos naturales estables producto de la descomposición biológica y la resíntesis. El humus contiene sustancias refractarias como la lignina y los polifenoles. Debido a estas sustancias refractarias, se denomina materia orgánica pasiva del suelo. Comprende alrededor del 40 al 60 % del total de la MOS (Osman, 2013).

Metano (CH_4): uno de los GEI que se deben reducir en el marco del Protocolo de Kyoto. Es el componente principal del gas natural y está asociado a todos los hidrocarburos utilizados como combustibles. Se producen emisiones significativas a causa de la ganadería y la agricultura y su gestión representa una importante posibilidad de mitigación (IPCC, 2018).

Mineralización: proceso metabólico en el suelo que hace parte de la descomposición completa de todos los compuestos orgánicos y conduce a que los elementos esenciales se convier-

tan a formas inorgánicas simples. Por ejemplo, nitrógeno (N), fósforo (P) y azufre (S) combinados orgánicamente aparecen como iones NH_4^+ , H_2PO_4^- y SO_4^{2-} , y una cantidad considerable de carbono (C) se libera como CO_2 . El resto del sustrato (carbono) utilizado por los microorganismos se incorpora a la sustancia celular microbiana o biomasa microbiana, junto con una proporción variable de otros elementos esenciales como N, P y S. Dicha incorporación hace que estos elementos no estén disponibles para la planta en crecimiento hasta que los organismos mueren y se descomponen, por lo que este último proceso se llama inmovilización (Osman, 2013).

Mitigación: intervención humana destinada a reducir las emisiones o mejorar los sumideros de gases de efecto invernadero (IPCC, 2018).

Monitoreo y evaluación: las actividades de monitoreo y evaluación hacen referencia a mecanismos implementados a nivel nacional y local para realizar estas actividades sobre las medidas relacionadas con la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero o la adaptación a los impactos del cambio climático, con miras a determinar, caracterizar y evaluar de forma sistemática los avances logrados con el tiempo (IPCC, 2018).

Óxido nitroso (N_2O): Gas de efecto invernadero (GEI) que se debe reducir en el marco del Protocolo de Kyoto. La fuente antropógena principal de N_2O es la agricultura (la gestión del suelo y del estiércol), pero hay también aportes importantes provenientes del tratamiento de aguas residuales, de la quema de combustibles fósiles y de los procesos industriales químicos. El N_2O también es producido naturalmente por muy diversas fuentes biológicas presentes en el suelo y en el agua, y particularmente por la acción microbiana en los bosques tropicales húmedos (IPCC, 2018).

Oxisol: Suelo tropical altamente meteorizado con enriquecimiento de caolinita y óxidos de hierro (Fe), aluminio (Al) y manganeso (Mn). Estos suelos se desarrollan bajo un clima caracterizado por variaciones en la temperatura del suelo y sin congelamiento estacional, y una alta precipitación anual. Pueden tener una amplia gama de regímenes de humedad del suelo, desde áridos hasta perúricos. Usualmente, los oxisoles se desarrollan bajo condiciones climáticas donde la precipitación excede la evapotranspiración por algunos periodos del año para facilitar la remoción de productos solubles de meteorización y favorece la concentración residual de caolinita y sesquióxidos, los cuales son esenciales para formar un horizonte óxico. Son suelos degrada-

dos poco fértiles que se encuentran en pendientes suaves de superficies geológicamente antiguas en regiones tropicales y subtropicales. La vegetación natural varía desde selvas tropicales hasta sabanas desérticas. Aunque muchos son extremadamente infértiles, algunos oxisoles pueden volverse productivos cuando se cultivan con el manejo adecuado. Tienen cinco subórdenes: aquox, perox, torrox, udox y ustox (Osman, 2013).

Paisaje: área de tierra heterogénea que a menudo está estructurada jerárquicamente y cuya unidad básica es un parche, un área relativamente homogénea. El tamaño (extensión o dimensión espacial) de un paisaje depende de los objetivos de manejo o investigación y varía con la percepción o necesidades de los organismos. Debido a que diferentes organismos ven el mismo paisaje de manera distinta, un paisaje puede variar desde metros cuadrados (desde la perspectiva de un insecto) hasta miles de kilómetros cuadrados o más (desde la perspectiva de los humanos). Los parches y los paisajes no son entidades aisladas, sino que se encuentran ensamblados en contextos locales, regionales y globales. Además, un paisaje es un sistema abierto con flujos a través de sus límites e interacciones con otros paisajes. Por ejemplo, los nutrientes y los contaminantes pueden seguir los flujos hidrológicos desde las tierras

altas hasta los sistemas acuáticos. Las funciones (o procesos) del paisaje incluyen flujos de materia, flujos de energía y flujos de organismos, como la migración y la dispersión entre parches, y estos procesos determinan su conectividad e interacción. Tanto la estructura como la función del paisaje cambian con el tiempo y el espacio, debido a perturbaciones naturales y antropogénicas, lo cual determina cambios en una variedad de formas. Por ejemplo, un gran paisaje contiguo puede fragmentarse en partes más pequeñas o puede perder algunos de sus elementos. Por el contrario, los pequeños paisajes o parches pueden fusionarse en otros más grandes. Las tasas de cambio pueden ser diferenciales y dependen de la intensidad y frecuencia de las perturbaciones, con algunos cambios muy dramáticos o graduales o menos obvios (Liu & Taylor, 2002).

pH: unidad adimensional que mide el grado de acidez de una solución, manifestado en la concentración de iones de hidrógeno $[H^+]$ en ella. El pH se mide con arreglo a una escala logarítmica en virtud de la cual $pH = -\log_{10}[H^+]$. Así, cuando el pH disminuye en una unidad, la concentración de H^+ , es decir, la acidez, se multiplica por 10 (IPCC, 2018).

Plintita: (del griego *plinthos*, ladrillo) mezcla de arcilla con cuarzo y otros diluyentes, rica en hierro y pobre en

humus. Es común que ocurra como concentraciones redox rojo oscuras, que usualmente forman patrones laminares, poligonales o reticulares. La plintita cambia irreversiblemente a un pan endurecido férrico o a agregados irregulares al exponerla a humedecimientos y secados repetidos, en especial si se le expone al calor del sol. El límite inferior de una zona (en la cual la plintita ocurre) generalmente es difuso y gradual, pero puede ser abrupto en una discontinuidad litológica (Departamento de Agricultura de los Estados Unidos [USDA], 2014).

Proveedores de servicios ecosistémicos

(SE): se denomina a la especie, red alimentaria, hábitat o sistema que facilita y apoya la provisión de servicios ecosistémicos y puede entregar o ser integrador de múltiples proveedores de SE (González-Chang et al., 2020).

Régimen hídrico: patrón predominante de flujo de agua de un ecosistema durante un tiempo determinado. Más específicamente, se refiere a la duración y el momento de las inundaciones resultantes del agua superficial (flujo superficial), la precipitación y la entrada de agua subterránea (GreenFacts, s. f.).

Resiliencia: capacidad de un ecosistema para absorber una perturbación y reorganizarse con cambios mínimos en estructura y función. El concepto de resiliencia no se basa en un ideal

de estado estable, sino que reconoce que los ecosistemas variarán en el tiempo y el espacio, al mismo tiempo que mantienen interacciones y funciones biológicas clave. Incluso en los ecosistemas naturales, las condiciones nunca son constantes y la estocasticidad resulta de fenómenos como incendios, brotes de insectos o enfermedades y eventos climáticos extremos. Fuerzas como estas pueden afectar la biota o las funciones del ecosistema, pero los ecosistemas resilientes finalmente se recuperarán para funcionar dentro de su rango normal (Folke et al., 2004).

Riesgo: potencial de que se produzcan consecuencias adversas por las cuales algo de valor está en peligro y en las cuales un desenlace o la magnitud del desenlace son inciertos. En el marco de la evaluación de los impactos del clima, este término suele emplearse para hacer referencia al potencial de consecuencias adversas de un peligro relacionado con el clima, o de las respuestas de adaptación o mitigación a dicho peligro, en la vida, los medios de subsistencia, la salud y el bienestar, los ecosistemas y las especies, los bienes económicos, sociales y culturales, los servicios (incluidos los servicios ecosistémicos) y la infraestructura. Los riesgos se derivan de la interacción de la vulnerabilidad (del sistema afectado), la exposición a lo largo del tiempo (al

peligro), el peligro (relacionado con el clima) y la probabilidad de que ocurra (IPCC, 2018; Kleijn et al., 2019).

Rotación de cultivos: práctica de sembrar diferentes cultivos en sucesión en la misma tierra para mantener la productividad del suelo y controlar malezas, plagas y enfermedades (Kleijn et al., 2019).

Servicio ecosistémico (SE): contribución que los ecosistemas hacen al bienestar humano, y se diferencia de los bienes y beneficios que las personas obtienen posteriormente de ellos. Esta contribución se enmarca en términos de “lo que hacen los ecosistemas” por las personas. Por eso, la definición de cada SE identifica tanto los propósitos o usos que las personas tienen para los diferentes tipos de servicios ecosistémicos como los atributos o comportamientos particulares de los ecosistemas que los respaldan. De acuerdo con la clasificación del Cices V5.1, existen tres clases de servicios ecosistémicos: de provisión, de regulación y mantenimiento, y culturales (Haines-Young & Potschin, 2018).

Secuestro de carbono: proceso de transferencia de CO_2 de la atmósfera al suelo, con el cual se busca la estabilización del CO_2 a mediano y largo plazo, reduciendo la tasa de reemisión (Chenu et al., 2019)

Textura del suelo: proporción relativa de partículas de diferente tamaño en el suelo: primarias y secundarias. Las primarias incluyen arena, limo y arcilla, clasificadas según su diámetro efectivo en un suelo. Esta es una propiedad fundamental del suelo que no se altera fácilmente y determina el grado de dificultad para trabajarlo, la cantidad de agua y aire que retiene y la velocidad con que el agua penetra en el suelo y lo atraviesa. Hay 12 clases de texturas que van desde la arena hasta la arcilla (Osman, 2013).

Ultisol: suelo con horizonte argílico o cándico y con una baja saturación de bases. Los ultisoles aparecen en cualquier régimen de temperatura y humedad (excepto en el arídico), en zonas de clima templado (con elevadas precipitaciones que produzcan un lavado intenso de las bases). Respecto a la vegetación, se desarrollan sobre zonas boscosas de coníferas, además de aparecer en las sabanas. En cuanto al material parental, este tiene que poseer un bajo contenido en cationes, por lo que materiales ricos en bases no son el material sobre el que se desarrollan estos suelos. En los ultisoles, la eluviación y la iluviación son los procesos más importantes en el desarrollo del perfil, dándose el caso de acumulación de arcillas en horizontes profundos del perfil, y produciéndose una pérdida de arcillas en los horizontes su-

perficiales. El proceso de eluviación produce la movilización y pérdida de materiales, que se desarrolla en los horizontes superficiales, mientras que el proceso de iluviación representa la ganancia de sustancias en los horizontes, siendo el agua el medio de transporte. El orden de los ultisoles se caracteriza por tener suelos con horizonte argílico o kándico y con una baja saturación de bases menor al 35 % a una profundidad de 125 cm por debajo del límite superior del horizonte argílico. Son suelos que se ubican en zonas donde la precipitación es elevada, excediendo la evapotranspiración potencial durante algunos periodos del año. La gran cantidad de precipitación provoca la percolación del agua a través del perfil, manteniendo la saturación de bases baja. Se pueden presentar en cualquier régimen de humedad del suelo, excepto el árido, así como cualquier régimen de temperatura del suelo (USDA, 2014).

Vareta: fragmento o parte de la planta de marañón provista de yemas (Galdámez, 2004).

Variabilidad climática: denota las variaciones del estado medio y otras características estadísticas (desviación típica y sucesos extremos, entre otras) del clima en todas las escalas espaciales y temporales más amplias que las de los fenómenos meteorológicos. La variabilidad puede deberse a procesos internos naturales del sistema climático (variabilidad interna) o a variaciones del forzamiento externo natural o antropógeno (variabilidad externa) (IPCC, 2018).

Vulnerabilidad: propensión o predisposición a ser afectado negativamente. Comprende una variedad de conceptos que incluyen la sensibilidad o susceptibilidad al daño y la falta de capacidad de respuesta y adaptación (IPCC, 2018).





Módulo I. Conceptos básicos

Foto: Diana Mateus

Los gases de efecto invernadero (GEI) son componentes gaseosos de la atmósfera y pueden tener orígenes naturales o antropogénicos, es decir, producidos por diferentes actividades humanas, entre ellas la agricultura y el cambio de uso del suelo. Los GEI se caracterizan por absorber y emitir radiación en determinadas longitudes de onda del espectro de radiación terrestre emitida por la superficie de la Tierra, por la atmósfera y las nubes. Esta propiedad ocasiona el efecto invernadero en el planeta. El dióxido de carbono (CO_2), el metano (CH_4) y el óxido nitroso (N_2O) son los GEI primarios en la atmósfera terrestre. Su capacidad de absorber calor determina el potencial de calentamiento global (PCG), que para el CO_2 es igual a 1 y es la base de referencia para establecer el PCG de los otros GEI. El PCG del CH_4 corresponde a 28 y el del N_2O a 273, todos en un horizonte de tiempo de 100 años (IPCC, 2019).

La agricultura se considera un sector aportante al cambio climático. De acuerdo con el IPCC (2023), para 2019 el 22 % de las emisiones globales de gases de efecto invernadero (GEI) se generaron en las actividades agrícolas, la silvicultura y otros usos de la tierra (Afolu). Las emisiones asociadas a la agricultura están relacionadas con sus prácticas de manejo, especialmente por fermentación entérica en ganadería, el uso de fertilizantes sintéticos y la labranza de los suelos (Magazzino et al., 2023). Según Tubiello et al. (2021), en los países en desarrollo, la mayor parte de las emisiones están asociadas con la producción en la finca y se consideran la etapa domi-

nante del sistema agroalimentario sobre este impacto. No obstante, es necesario considerar la especificidad del procesamiento, destino y medios de transporte de las diferentes cadenas de suministro.

La agricultura tiene el potencial de ser a la vez fuente y sumidero de GEI (Rosenzweig et al., 2020), por lo que las estrategias de innovación y el uso de tecnologías eficientes en el sector agrícola son importantes para avanzar en programas de mitigación, adaptación y conservación de los recursos y la biodiversidad. Además, reducir las emisiones relacionadas con la gestión de sistemas agrícolas tiene la ventaja de crear beneficios climáticos y reducir el costo general de la mitigación (Ou et al., 2021). De esta manera, las políticas de innovación son una herramienta fundamental para aumentar o mantener la productividad del sector agrícola, al tiempo que se reducen las emisiones y el impacto ambiental negativo, que no solo acelera la escasez de los recursos y el deterioro ecológico, sino que además reduce la provisión de alimentos.

Los mecanismos de mitigación, las estrategias de adaptación a los riesgos ambientales y la conservación de los recursos pueden implementarse a nivel de cultivo, agroecosistema o paisaje con matriz agrícola. Estos mecanismos están relacionados con la diversificación de cultivos, la diversificación de agroecosistemas y paisajes y la gestión óptima del suelo y el agua, entre otros. En el caso del recurso hídrico, el almacenamiento y la conservación de la humedad en el suelo son mecanismos de

suma importancia en las buenas prácticas para la agricultura sostenible. Adicionalmente, el IPCC (2023) determina que la combinación de medidas no estructurales, como los sistemas de alerta temprana y la planificación integral del territorio, así como la producción sostenible de alimentos, la gestión forestal mejorada, la gestión del carbono orgánico del suelo, la conservación de ecosistemas, la reducción de la deforestación y la disminución del desperdicio de alimentos, son medidas con grandes beneficios para la mitigación, adaptación y provisión de bienes en agroecosistemas sostenibles. Adicionalmente, las buenas prácticas para la reducción de emisiones de GEI están asociadas a la gestión eficiente de insumos y recursos, acciones que, en conjunto, brindan beneficios al interior del agroecosistema y a nivel de paisaje, lo que incrementa la resiliencia a la oferta de clima cambiante.

De acuerdo con Dubey, Singh y Abhilash (2020), existen una serie de buenas prácticas prometedoras, con ejemplos de aplicación en diferentes lugares del mundo que brindan beneficios en la reducción de emisiones de GEI y el incremento del carbono orgánico del suelo, al igual que sobre la conservación de la biodiversidad y, en general, el alcance de las metas de la agricultura sostenible. A nivel de especie/cultivo, el uso de variedades adaptadas a la oferta ambiental y una buena selección de material de siembra incrementa la productividad y permite una gestión eficiente de los recursos para disminuir el impacto sobre los recursos y las emisiones de GEI.

Además, la gestión de los residuos y el uso de enmienda de biocarbón, con y sin ingreso de fertilizantes, ofrecen beneficios al reducir las emisiones de GEI e incrementar el almacenamiento del COS. Asimismo, el uso adecuado de fertilizantes nitrogenados y su sincronización con las necesidades de las plantas de cultivo disminuyen las emisiones de N_2O y los costos de producción, mejorando el desempeño ambiental y productivo de los agroecosistemas.

A nivel de agroecosistema, el uso de cultivos de servicios (de cobertura, rotación o abonos verdes), la labranza mínima o de conservación, la incorporación de residuos y el uso de biofertilizantes cumplen varios propósitos. Por ejemplo, los sistemas de doble cultivo basado en leguminosas bajo prácticas de labranza de conservación y el manejo integrado de nutrientes no solo incrementa el nitrógeno fijado y disponible en el agroecosistema, sino que aumenta el beneficio neto y la relación costo-beneficio, con un efecto importante en la reducción de emisiones de N_2O . Además, este conjunto de prácticas incrementa el COS, mejora las cualidades físico-químicas, hidrofísicas y biológicas del suelo y aumenta la productividad de los agroecosistemas (Das et al., 2014; Sui et al., 2016; Dubey, Singh y Abhilash, 2020). Igualmente, el uso de tecnología para la planificación y la preparación y gestión sitio-específica de los suelos son alternativas para el uso eficiente de insumos y la reducción de emisiones de GEI directas e indirectas.

En los paisajes con matriz agrícola, las estrategias para el desarrollo se agroecosistemas bajos en carbono están encaminadas a la planificación integral del territorio bajo sistemas producción-conservación e incremento de la biodiversidad funcional. Los paisajes agrícolas con mayor heterogeneidad y diversidad incrementan su resiliencia y proveen mayor cantidad de servicios ecosistémicos. La integración de cultivos intercalados, policultivos y el acompañamiento de corredores verdes o relictos de bosque incrementan los hábitats para enemigos naturales y disminuyen la presión de plagas. Esto conlleva un menor uso de agroquímicos y, por tanto, un menor impacto ambiental. Además, repercute en una mayor productividad de los cultivos y eficiencia en el uso de nutrientes, con menores emisiones de GEI suelo-atmósfera. Las estrategias de gestión de residuos de cultivos e ingreso natural de hojarasca de cercas vivas, setos y relictos de bosque incrementan y mantienen el COS durante periodos de tiempo más largos, aumentan la productividad de los cultivos (Ventrella et al., 2016) y disminuyen las emisiones de GEI por unidad de producto.

De otro lado, la transición de prácticas agrícolas convencionales a prácticas agroforestales y prácticas agroecológicas, bajo una gestión integrada del territorio, así como el desarrollo de prácticas agroecológicas en sistemas agroforestales a una escala más amplia del paisaje, mejoran la resiliencia y adaptación de los paisajes, al tiempo que proveen múltiples servicios. Además, disminuyen

la erosión, conservan la biodiversidad e incrementan los beneficios al interior del paisaje a través de diversos servicios ecosistémicos de regulación y mantenimiento (Schwab et al., 2015; Torralba et al., 2016), entre ellos el incremento en la recirculación de nutrientes y, por tanto, la disminución de emisiones de GEI. Adicionalmente, el uso de residuos orgánicos de origen animal para elaborar abonos orgánicos y reintroducirlos al sistema, el uso de biofertilizantes y la disminución del ingreso de insumos, en combinación con la diversificación de las coberturas del suelo en los paisajes agrícolas, no solo incrementa la fertilidad de los suelos y la biodiversidad del suelo, sino que también optimiza los procesos metabólicos para la disponibilidad de nutrientes y la regulación de la dinámica de la comunidad edáfica, para el incremento de la calidad de los suelos, el almacenamiento del COS y la productividad de los agroecosistemas, incluidos los de marañón.

Los agroecosistemas de marañón presentan potencial para la fijación y almacenamiento de carbono debido a su alta acumulación de biomasa (Agbela-de & Onyekwelu, 2020). Además, tienen potencial para proveer otros servicios ecosistémicos, especialmente de provisión (Hurni & Fox, 2018; Silva et al., 2018), lo que mejora los medios de vida de los productores. Los agroecosistemas de marañón se consideran una estrategia de desarrollo en zonas de suelo degradados o pobres de áreas con regímenes de lluvia estresantes. El marañón posee una capacidad inherente para resistir y

adaptarse a la sequía (Sandamurthy & Ramanujam, 2020) y condiciones de suelo de baja fertilidad, así como un efecto mínimo a la invasión de plagas (Adjei et al., 2020), que representan características para un agroecosistema de marañón bajo en carbono. Estos agroecosistemas se caracterizan por generar bajas emisiones relacionadas con las pocas entradas de insumos externos, especialmente fertilizantes nitrogenados y agroquímicos en general, al igual que por su potencial para capturar carbono en su biomasa área y subterránea y en los suelos en donde se establecen estos sistemas.

De acuerdo con Ashiagbor et al. (2022), la dinámica de conversión de paisajes asociados al incremento del área de siembra de cultivos de marañón (correspondiente a 31.103,05 hectáreas entre los años 2000 y 2020) en zonas de sabanas de paisajes de transición bosque-sabana, en la municipalidad de Wenchi (Ghana), contribuyó al aumento del 80,26 % de las reservas de carbono aéreo. Este incremento se atribuye al periodo de cambio de 20 años, tomando como referencia el C fijado en plantas mayores de nueve años. De manera similar, en la zona de la Orinoquia, los resultados preliminares determinan su potencial de aumento en las reservas de carbono aéreo y subterráneo, así como de bajas emisiones de GEI asociadas a las pocas entradas de insumos externos, principalmente fertilizantes nitrogenados. En ese sentido, las ganancias resultantes de agroecosistemas de marañón bajos en carbono no solo contribuyen a las estrategias de mitigación, sino

que además brindan alternativas para que los productores mejoren sus medios de vida, mediante co-beneficios asociados a los mercados de carbono y otros pagos por servicios ecosistémicos. No obstante, el crecimiento y escalamiento de agroecosistemas de marañón debe considerar la planificación y gestión integral del territorio bajo mecanismos de ecoeficiencia.

La planificación y gestión integral del territorio evita una expansión agrícola de monocultivos de marañón que no solo ejercen presión sobre tierras de cultivos alimentarios y, por tanto, sobre la seguridad alimentaria, sino sobre la biodiversidad, al homogenizar los paisajes con matriz marañonera. De esta manera, el desarrollo y escalamiento de agroecosistemas de marañón bajos en carbono y la creación de paisajes sostenibles de la Orinoquia deben plantear estrategias de trabajo para la planificación y la diversificación. La creación de agroecosistemas que integren acciones desde la intensificación ecológica, como las prácticas agroforestales, los cultivos intercalados y el manejo de cultivos de servicios, permiten la ecoeficiencia y la multifuncionalidad en estos paisajes y la generación de una cadena de valor sostenible. Según Ashiagbor et al. (2022), la integración de estrategias de agroforestería en marañón y la inclusión de biodiversidad funcional ofrecen un panorama integrado de producción de cultivos alimentarios, cultivos de marañón y estrategias de conservación.

No obstante, el desarrollo de estrategias para la creación de agroecosistemas

de marañón bajos en carbono debe considerar no solo la planificación y gestión integral del territorio y el predio, sino también la implementación de buenas prácticas basadas en la eficiencia en el uso de los recursos ecológicos para los requerimientos de esta cadena de valor. De acuerdo con la OCDE (1998), estas acciones se enmarcan en la denominada *ecoeficiencia*, cuyas acciones determinan el vínculo comercial con el desarrollo sostenible (Schaltegger & Sturm, 1990). Su aplicación en la agricultura, además, juega un papel clave en el logro de diferentes Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), ya que la ecoeficiencia aumenta cuando el mantenimiento o el incremento del valor económico de la producción corresponde con una disminución de los impactos ambientales, un valor agregado en los agroecosistemas de marañón bajos en carbono en paisajes sostenibles y multifuncionales de la Orinoquia. De esta forma, la combinación del análisis del desempeño productivo y ambiental en sistemas agrícolas determina su gestión hacia la ecoeficiencia.

La gestión para la ecoeficiencia y sus mecanismos de evaluación permiten identificar el grado de mantenimiento e incremento de las funciones básicas de la agroecosistemas sostenibles, que consideran las siguientes acciones: i) la producción de bienes y servicios, ii) la conservación de la biodiversidad, iii) la gestión de tierras para mantener su potencial agrícola y para preservar paisajes multifuncionales, iv) la conservación del capital natural base de la vida y v) la

generación de ingresos adecuados para mejorar los medios de vida de los productores.

Finalmente, la construcción de agroecosistemas bajos en carbono en paisajes sostenibles en el territorio requiere de la disponibilidad e interés de los productores y los formuladores de políticas, para desarrollar incentivos monetarios y no monetarios. Los productores y los tomadores de decisiones, así como los comercializadores actuales, consideran como mecanismos de acción el desarrollo y acceso a incentivos, entre ellos los subsidios o beneficios que permitan incrementar el interés para una adopción generalizada de estrategias productivas bajas en carbono. En ese sentido, la implementación de buenas prácticas bajas en carbono en agroecosistemas de marañón se puede incentivar a través de dos mecanismos: i) mediante procesos no monetarios de gestión del conocimiento y ii) mediante procesos monetarios.

El primero se puede lograr adelantando acciones participativas con los productores, una estrategia de gestión del conocimiento que posibilita un enfoque de bajo riesgo en la implementación de prácticas bajas en carbono con ganancias o beneficios sobre su desempeño productivo y potenciales efectos positivos en el desempeño ambiental, además de reducción de costos e incremento en las estrategias de reputación y competitividad de la cadena de valor de marañón. Para el productor y las instituciones gestoras de conocimiento, así como para los tomadores de decisiones, esta estrategia se convierte en un incen-

tivo no financiero. El acompañamiento permanente de extensionistas y asistentes técnicos, conocedores de buenas prácticas bajas en carbono y sus beneficios en modelos de negocios de carbono y servicios ambientales, también incentiva a los productores a desarrollar agroecosistemas de marañón bajos en carbono.

De otro lado, las retribuciones financieras son importantes y están relacionadas con incentivos y subsidios monetarios. La diferencia entre un subsidio y un incentivo para premiar el deseo de implementar prácticas bajas en carbono en agroecosistemas de marañón radica en que el subsidio ayudará al productor a “pagar algo”, lo cual constituye una forma de contribución

financiera para la gestión de su sistema productivo, mientras que un incentivo —también como ayuda financiera— compensa el precio de un bien o servicio en un mercado, porque influye en el comportamiento del consumidor, quien podrá elegir consumir productos con una menor huella de carbono. En general, los efectos de estas retribuciones sobre el comportamiento ambiental de los productores en el tiempo dependerán de una variedad de factores. Estos incluyen las características del acuerdo de pago, las nociones locales de justicia y el arraigo psicológico, cultural y social para el comportamiento deseado (van Hecken et al., 2019), además de la permanente motivación desde el acompañamiento y la gestión del conocimiento.

A person wearing a blue long-sleeved shirt and a blue patterned headscarf is standing outdoors, looking at a laptop. They are positioned next to a large, leafy tree. A white electronic device, likely a data logger or sensor, is mounted on a wooden post near the tree. The background shows a clear blue sky and some distant hills. The overall scene suggests a field study or agricultural monitoring activity.

Módulo II. Buenas prácticas en la planificación de agroecosistemas de marañón bajos en carbono

Foto: Diana Mateus

Gestión local de información climática

El clima es el conjunto de condiciones atmosféricas que caracterizan una región o localidad. La condición generalizada en el departamento del Vichada son los altos valores de precipitación acumulada anual, superiores a 1.800 mm por año, que bien distribuidos podrían representar casi 5 mm diarios de lluvia para las plantas cultivadas. En ese sentido, y dado que es el único departamento de la Orinoquia que no tiene paisaje de cordillera, se ha llegado a pensar que el territorio es, en general, de clima cálido húmedo. Sin embargo, una mejor descripción climática para el Vichada puede ser la de un territorio ecuatorial, con escasa variación anual de la temperatura del aire y con acumulación de la precipitación en siete a nueve meses del año; por ello, presenta una época seca fuerte y marcada con exceso de brillo solar y una época húmeda con baja radiación y temperatura del aire (figura 1).

Las zonas más secas se encuentran en enclaves de Santa Rosalía y La Primavera, que por estar situados en el corredor seco que va desde Arauca hasta Maní Casanare, exhibe pocos días lluviosos en el año (alrededor de 100 días) (figura 2), mientras que las zonas más lluviosas están en el sur y el oriente del

departamento. En el Vichada se cumple la premisa de la producción agropecuaria de las zonas ecuatoriales, y es que en los meses en los que se presentan las más altas precipitaciones se reduce el brillo solar y la temperatura del aire (figura 1).

Conceptualización

De acuerdo con Peña et al. (2023), el objetivo fundamental de la gestión de datos climáticos, es decir, de la captura, almacenamiento y divulgación de los registros de las variables del clima, es fortalecer las instituciones tomadoras de decisiones. Desde el punto de vista de la producción de marañón, tal fortalecimiento se da en la medida en que se genera información agroclimática útil, a partir de los registros meteorológicos y de los datos de la dinámica atmosférica. En ese sentido, una gestión apropiada de los agroecosistemas dependerá de la posibilidad de tener datos meteorológicos, del entendimiento del efecto de los elementos del clima sobre los procesos y entidades (seres vivos) del agroecosistema (tabla 1) y de la capacidad para llevar esa información a los productores, extensionistas, comerciantes, secretarios de agricultura y gestores de riesgo a escala municipal y departamental.

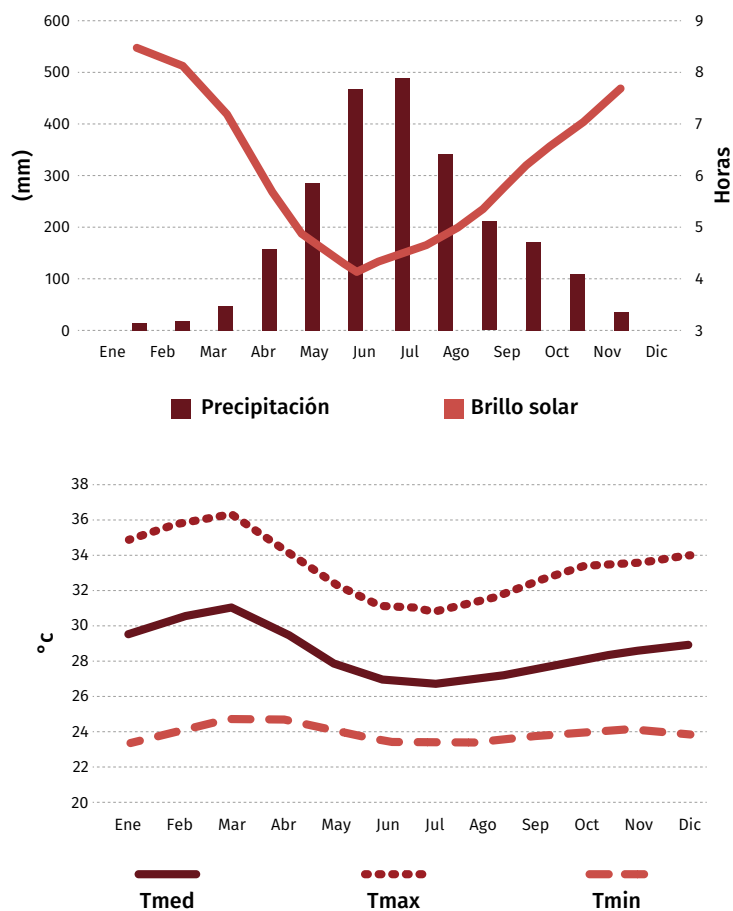


Figura 1.
Comportamiento
histórico de la pre-
cipitación, horas de
brillo solar y tempe-
ratura en Vichada.

Fuente: Elaboración
propia

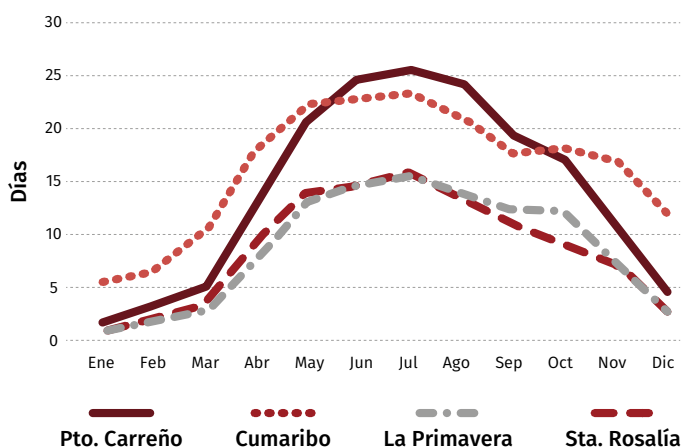


Figura 2.
Días con lluvia en
los cuatro municipi-
pios del Vichada.

Fuente: Elaboración
propia

Tabla 1.
Efecto de las variables del clima sobre los agroecosistemas marañoneros

Variable	Unidad de medida	Principal efecto sobre el sistema de producción
 Radiación (brillo) solar	MJ/m ² * (horas-sol)+	La radiación es fundamental para la fotosíntesis. Sin embargo, la radiación ultravioleta puede afectar tanto a los insectos (plagas y benéficos) como a los humanos.
 Temperatura del aire	°Celcius	La temperatura ambiental determina el nivel de germinación del polen y de las semillas, así como la actividad fotosintética, la respiración y, en general, la capacidad de metabolizar.
 Humedad del aire	%	La humedad del aire influye sobre la polinización, afecta la nutrición de las plantas y determina la sanidad de las plantas cultivadas.
 Precipitación	mm	En sistemas de producción de secano, la precipitación modula la humedad del suelo (proceso de fotosíntesis). Además, la lluvia puede generar erosión, crear flujos masales de suelo y reducir la posibilidad de mercadeo por impacto en las vías.
 Dirección del viento	grados	La dirección del viento determina hacia dónde se mueven los productos que se aplican en los cultivos. Asimismo, este parámetro define hacia dónde se mueve el fuego.
 Velocidad del viento	m/s	La velocidad del viento está asociada de manera positiva con la evapotranspiración, al igual que con el confort de los animales y la pérdida de capas superficiales de suelo.

* Megajulios por metro cuadrado.
+ Horas de insolación o brillo solar.

Fuente: Elaboración propia

Aspectos a tener en cuenta

La gestión de información climática para el desarrollo de agroecosistemas de marañón bajos en carbono implica el conocimiento e interpretación a partir de los siguientes aspectos:

Datos e información climática histórica: se utiliza para determinar actividades de planificación temprana del cultivo, por ejemplo, idoneidad de la especie o la variedad, así como la necesidad de establecer riego, en casos en

los que se haya establecido a priori la especie o variedad a cultivar (figura 3). Los datos climáticos históricos, medidos en estaciones meteorológicas de diferente tipo, así como los provenientes de muestreo satelital, permiten identificar las fluctuaciones o variaciones naturales del clima, como las zonas más o menos lluviosas o las fechas promedio de inicio y finalización de temporadas lluviosas y secas (figura 4).

Predicción climática: permite definir y planear de manera anticipada medidas de adaptación a corto y mediano plazo; por ejemplo, el manejo preventivo de plagas en escenarios de alta temperatura del aire y/o de enfermedades en épocas lluviosas por venir (figura 3).

Las predicciones climáticas son proyecciones del comportamiento de las variables meteorológicas a uno, dos o hasta seis meses en el futuro, que sirven para planificar y ajustar las prácticas o labores al anticipar el efecto del clima sobre diferentes subsistemas del sistema de producción.

Pronóstico meteorológico: permite planear acciones de logística relacionadas principalmente con labores de campo, como el momento adecuado para la aplicación de insumos o la preparación de suelos (figura 3). Los pronósticos meteorológicos se utilizan para tomar decisiones de tipo logístico a corto plazo, por ejemplo, aquellas asociadas con el riego y la aplicación de fertilizantes.

Ventajas y desventajas de implementar o no las recomendaciones

Aspecto	Con implementación	Sin implementación
Datos e información climática histórica	Los agroecosistemas de marañón establecidos teniendo en cuenta los históricos de los elementos del clima están menos expuestos a las inclemencias del tiempo y el clima.	Los agroecosistemas de marañón establecidos con desconocimiento de los históricos climáticos están sometidos a la amenaza del clima y su manejo está muy asociado con la práctica de ensayo y error.
Predicción climática	Ajustar y hacer cambios oportunos en los itinerarios técnicos de los cultivos, con miras a adaptar los cultivos de marañón frente al clima cambiante.	Menor capacidad de respuesta y menor capacidad de recuperación en escenarios de eventos climáticos adversos.
Pronóstico meteorológico	Eficiencia en el uso de los recursos.	Pérdidas productivas por ineficiencia en el manejo de los recursos.

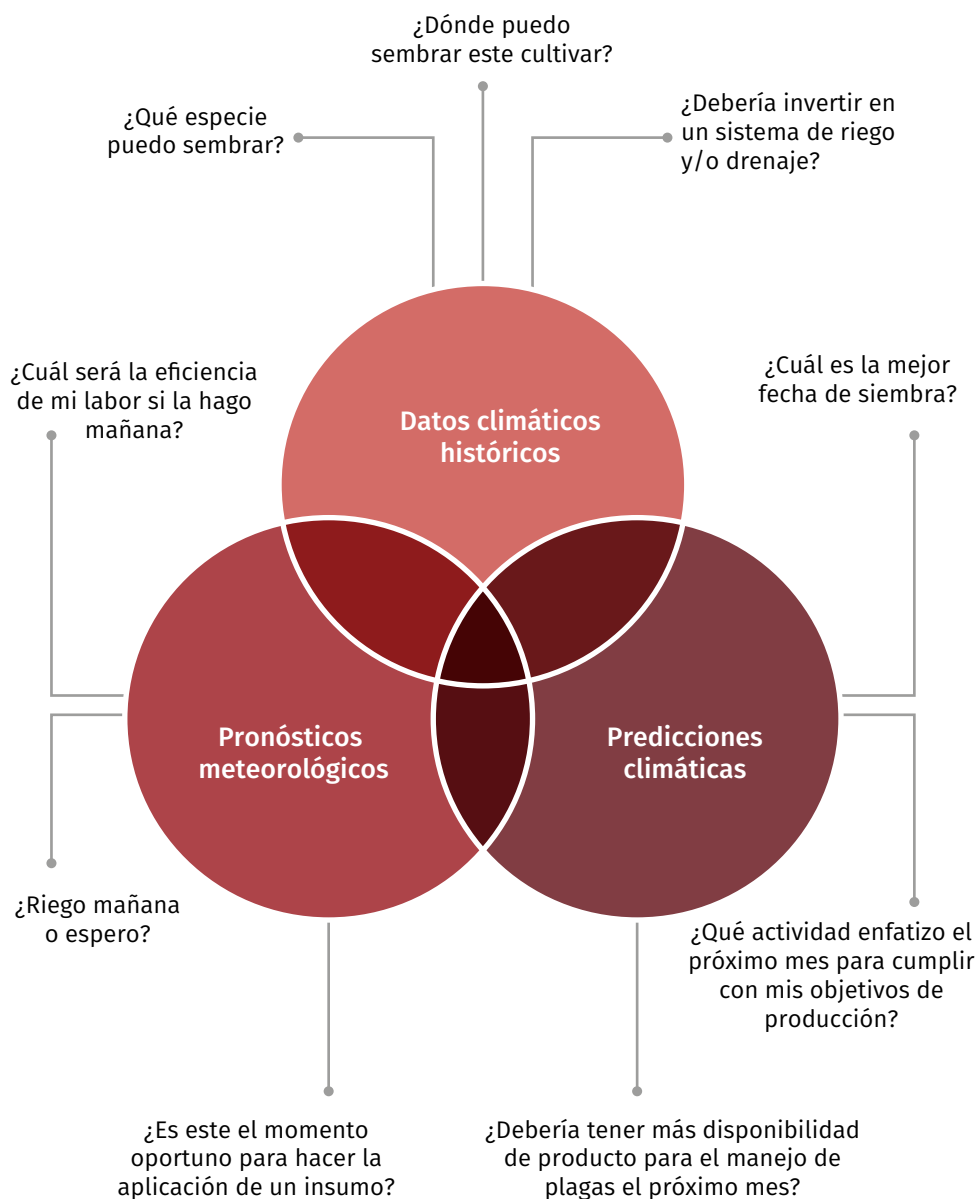


Figura 3.

Tipología de datos e información meteorológica utilizada en la gestión del agroecosistema y preguntas comunes que se pueden responder con su uso.

Fuente: Peña et al. (2023)

Estación	Municipio	Depto	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Prec. anual
Cejal	Cumaribo	Vichada													3.142,1
Cumaribo															2.542,0
Cumaribo															2.786,0
Las Gaviotas															2.836,4
Mataven															3.161,1
Pto. Nariño															2.788,4
La Raya															2.933,3
Sta. Rita															3.062,4
El Tapón															2.906,9
El Trapiche															2.842,2
Tuparro Bocas Tomo															2.652,8
Aguaverde	La Primavera														2.288,2
La Aurora															2.328,5
Patevacal															2.439,7
Pto. Fortuna															2.679,6
Pto. Infante															2.004,9
San Jorge															2.413,8
Aceitico	Puerto Carreño													2.483,2	
Apto. Pto. Carreño														2.328,8	
Casuarito														2.563,3	
Bonanza	Santa Rosalía													2.118,8	
Hato Burrunay														2.292,8	
María														2.490,6	

Figura 4.
Épocas secas (naranja), de transición (rojo) y lluviosas (verde) en diferentes localidades del Vichada.
Fuente: Peña et al. (2023)

Gestión del recurso suelo

El recurso suelo está estrechamente vinculado con otros elementos del paisaje. Desconocer estas relaciones, así como los factores y procesos formadores, conlleva la toma inadecuada de decisiones y la imposibilidad de prever acciones acertadas frente a posibles cambios en el entorno por la interpretación limitada de su funcionamiento. En este sentido, la eficiencia en la gestión de este recurso y su contribución a la competitividad de la región, a partir del agroecosistema de marañón, dependerá del conocimiento que se tenga de sus características y del paisaje circundante.

Conceptualización

La gestión del suelo es el conjunto de acciones implementadas para proteger, restaurar o acondicionar los suelos, incrementar su biodiversidad, el almacenamiento de carbono y optimizar el manejo de agua en el suelo a la vez que se mantiene o mejora la productividad sin detrimento de su calidad o salud. Esta gestión tiene impacto a nivel local, regional y nacional.

Aspectos a tener en cuenta

Reconocimiento del paisaje: la gestión del suelo inicia con el reconocimiento de la oferta edáfica de la región en la que se pretende establecer el cultivo en contraste con su requerimiento. En la Orinoquia, el marañón se ha establecido en la altillanura plana del Vichada, paisaje sobre el que predominan los relieves de ondulaciones, lomas y depresiones, y suelos de orden inceptisol, ultisol y oxisol. Los

suelos asociados a este paisaje se caracterizan por su baja fertilidad natural, alta saturación de hierro y aluminio, baja capacidad de intercambio catiónico, bajos contenidos de bases intercambiables (Ca, Mg, K), alta densidad y baja retención de agua. En algunos suelos, es frecuente la presencia de plintita (ripió) en uno o más horizontes del perfil. Pueden encontrarse corazas o concreciones en la superficie, debido al material parental. Generalmente, son suelos profundos a moderadamente profundos, moderadamente bien drenados. Sin embargo, en depresiones o bajos, pueden variar de muy superficiales a superficiales, siendo limitados por el nivel freático para este cultivo. Este reconocimiento del territorio permitirá identificar, en primera instancia, las potenciales áreas que cumplen los requisitos básicos para el establecimiento del cultivo, así como las áreas con restricciones.

Planificación de áreas de siembra y conservación: a nivel predial, la gestión del suelo parte de la planificación de las áreas de siembra y conservación a través del reconocimiento y análisis detallado en lotes a través de cajuelas, calicatas, uso de barreno, curvas de nivel (nivel freático) u otra herramienta que permita una mejor toma de decisiones. Esta acción permitirá el análisis integral del predio en el marco territorial para la implementación de estrategias para el escalamiento de agroecosistemas de marañón bajos en carbono, incluyendo el acondicionamiento necesario para lograr un mejor desempeño.

Selección de suelos profundos: el marañón es poco tolerante a niveles freáticos superficiales, condición que limitará el desarrollo de la planta. Esto podría llevar a la pérdida total de la inversión por anoxia (falta de oxígeno en las raíces) o a una reducción significativa del crecimiento (biomasa acumulada menor en comparación con un suelo sin estas restricciones), y por tanto a un bajo o nulo rendimiento, afectando la rentabilidad del agroecosistema. En suelos donde se presenten encharcamientos transitorios dados por el depósito superficial de agua, y en un área limitada del terreno, podrían realizarse drenajes que permitan la evacuación del agua; sin embargo, debe analizarse que esta labor sea suficiente y compense la inversión requerida para su implementación. Seleccione suelos con al menos 2 m de profundidad efectiva para el establecimiento de agroecosistemas de marañón bajo en carbono en la altillanura.

Restricciones físicas en el perfil del suelo: en suelos de la altillanura es posible encontrar plintita en los horizontes del perfil, cuya presencia limita el desarrollo de las raíces, y por tanto el de la planta, debido al adensamiento natural que ocasiona y a la restricción del flujo vertical de agua. Los agroecosistemas de

marañón ubicados en estas condiciones verán limitado su desempeño hasta restringirlo por completo. Por el contrario, los suelos de textura franco arenosas son ideales para el establecimiento del cultivo, puesto que permiten un buen enraizamiento del marañón, así como el uso de la maquinaria apropiada con poca o ninguna restricción.

Acondicionamiento del suelo: el diagnóstico físico debe estar acompañado del diagnóstico químico de los lotes destinados al establecimiento de marañón, lo que se traducirá en una gestión eficiente de los recursos a invertir. El acondicionamiento debe hacerse en un sitio específico en respuesta a este diagnóstico. En la altillanura debe prestarse especial interés a las características físicas que pueden ser muy restrictivas para el cultivo, así como a la baja fertilidad natural de estos suelos, que demandan estrategias para complementar los requerimientos nutricionales de la planta. Tales estrategias incluyen la aplicación de insumos en el momento, dosis y forma adecuada, el uso de maquinaria apropiada y en el momento correcto, considerando tanto las predicciones climáticas como la incorporación de cultivos de servicio para proveer funciones ecológicas, agronómicas y económicas en el cultivo.



Foto: Diana Mateus

Ventajas y desventajas de implementar o no las recomendaciones

Aspecto	Con implementación	Sin implementación
Reconocimiento del paisaje	• Mayor capacidad para planificar el territorio. • Oportunidades para mejorar la competitividad del territorio identificadas. • Conservación de áreas y ecosistemas estratégicos.	• Pérdida de las inversiones realizadas por desconocimiento del territorio. • Suelos degradados.
Planificación de áreas de siembra y conservación	• Agroecosistemas de marañón ubicados en suelos con aptitud para su crecimiento y desarrollo. Mayor potencial para la fijación de carbono. • Identificación de áreas estratégicas para mantener la biodiversidad y recuperar funciones ecosistémicas en el predio.	• Mayor vulnerabilidad en agroecosistemas por falta de planificación. • Intervención de áreas de conservación para establecimiento de marañón, lo que incrementa las emisiones de GEI por cambio de uso del suelo. • Pérdidas de materia orgánica y biodiversidad del suelo.

Continúa ➡

Aspecto	Con implementación	Sin implementación
Selección de suelos profundos	• Condiciones adecuadas para el desarrollo del sistema radical y, por tanto, para la acumulación de biomasa. • Mayor eficiencia en el uso de los recursos disponibles para la planta. • Menores riesgos de pérdida económica.	• Mayor vulnerabilidad en agroecosistemas ante variabilidad climática por selección inadecuada. • Plantas con crecimiento limitado y pobre desarrollo, así como restricción de la fijación de carbono en la biomasa, lo cual afectará en mayor o menor medida la productividad en el corto o mediano plazo.
Consideración de restricciones físicas en el perfil del suelo	• Menores emisiones de GEI al aprovechar los insumos suministrados en una estructura vegetativa bien desarrollada, así como en bienes y productos. • Mayor oportunidad para mejorar el desempeño productivo y ambiental del agroecosistema.	• Riesgo de daño en los implementos al realizar las labores de preparación del suelo. • Mayor consumo energético del tractor al sobreesforzarse. • Escaso crecimiento de la planta, que afectará la inversión en el corto o mediano plazo.
Acondicionamiento del suelo	• Crecimiento y desarrollo óptimo de la planta. • Incremento en el almacenamiento de carbono orgánico en el suelo. • Mayor estabilidad estructural. • Mayor productividad por unidad de área. • Inversión en los recursos necesarios para el desarrollo de agroecosistemas de marañón bajo en carbono. • Menores costos de producción a mediano plazo. • Mayor aprovechamiento de las acciones de gestión implementadas y gastos evitados.	• Menor capacidad de recuperación de funciones ecosistémicas. Mayor dependencia de recursos externos. • Incremento en la compactación del suelo. • Aumento en la erosión del suelo. • Menor desempeño productivo y, por tanto, mayor retraso en la recuperación de la inversión.

Planificación predial y productiva

Al ser el marañón una especie permanente con un periodo productivo de 25 a 30 años, la selección del sitio para el establecimiento del agroecosistema es un proceso decisivo en el que se deben

considerar los requerimientos de la especie y la oferta ambiental del territorio, ya que de este dependerá el desarrollo del cultivo y el desempeño ambiental y productivo a largo plazo.

Conceptualización

El proceso de planificación predial y productiva consiste en un conjunto de acciones que le permiten al productor, con apoyo del técnico o extensionistas, tomar decisiones informadas sobre la ubicación, el diseño y la gestión del cultivo, a partir del conocimiento de la oferta ambiental del predio, así como identificar los recursos técnicos y financieros necesarios a corto, mediano y largo plazo. Al implementar estas acciones es posible aumentar la productividad, reducir riesgos y promover prácticas agrícolas responsables, con el fin de lograr un modelo de negocios sostenible en el territorio.

Aspectos a tener en cuenta

En el proceso de planificación predial y productiva para el desarrollo de agroecosistemas de marañón bajos en carbono, es importante que el productor tenga en cuenta los siguientes aspectos:

Identificación de los requerimientos del cultivo: permite establecer las necesidades nutricionales de la planta. Además, al caracterizar las condiciones climáticas y edáficas del predio, podemos verificar si existen las condiciones adecuadas para el óptimo desarrollo y producción del cultivo, y a partir de esto seleccionar los materiales genéticos adecuados para elaborar un plan de manejo agronómico basado en los resultados obtenidos.

Caracterización de la oferta climática: la interpretación de datos climáticos históricos de un territorio permite comprender el comportamiento anual

de variables como temperatura, precipitación, humedad relativa y brillo solar que influyen en los procesos fisiológicos y el desarrollo de la planta. El marañón es originario de la región costera al noreste de Brasil, que se caracteriza por ser una zona semiárida, con altas temperaturas y déficit hídrico. Para un óptimo desarrollo, debe establecerse en zonas con un periodo seco de 4 a 5 meses, lo que favorecerá el proceso de floración, formación de frutos y cosecha. Altos niveles de humedad (mayores a 85 %) durante esta época pueden favorecer el desarrollo de enfermedades, y por tanto afectar la producción potencial.

Selección de áreas en el predio para el cultivo de marañón: para la selección de áreas destinadas al agroecosistema de marañón bajo en carbono en el predio, es importante que el productor y su asistente técnico realicen recorridos de verificación en campo y muestreos físico-químicos de suelos, además de incorporar el uso de imágenes de satélite y *software* SIG como Google Earth Pro, QGis o Arcgis, a través de los cuales se puede visualizar, analizar e interactuar con información cartográfica que apoye el proceso de toma de decisiones. Todas estas herramientas en conjunto permiten identificar y determinar características del predio como la topografía, diferenciando si es plana, ondulada o quebrada; los tipos y texturas de suelos; las áreas de coberturas antrópicas relacionadas con áreas de infraestructura o cultivos destinados para el autoconsumo o comercializa-

ción, y los ecosistemas estratégicos como sabanas naturales, bosques de galería, bosques tropicales, saladillales, morichales o canaguachales humedales, ríos y quebradas que proveen de bienes y servicios ambientales y que por su importancia deben ser conservados. Lo anterior permite seleccionar áreas potenciales para el cultivo y descartar áreas que por sus características físicas o ambientales presentan restricciones.

Cambio de uso de la tierra: actividad que tiene un impacto significativo en la emisión de GEI; por lo tanto, en el proceso de planificación predial y la selección de áreas para el establecimiento del cultivo de marañón, se deben evitar procesos de deforestación a través de prácticas como la tumba y quema de bosques, ya que estos actúan como sumideros de carbono y, al ser reemplazados por otras coberturas, se liberan grandes cantidades de carbono almacenado a la atmósfera.

Ventajas y desventajas de implementar o no las recomendaciones

Aspecto	Con implementación	Sin implementación
Identificación de los requerimientos del cultivo	• Seleccionar áreas con condiciones idóneas a nivel climático y edáfico potencializa el desarrollo productivo.	• Mayores costos por adecuación de áreas por establecimientos en zonas con restricciones. • Menor productividad.
Caracterización de la oferta climática	• Óptimo desarrollo y potencial productivo de la planta.	• Establecer cultivos de marañón en áreas con restricciones climáticas limita el desarrollo y producción de la planta. • Mayor susceptibilidad a plagas y enfermedades e incremento de emisiones de GEI por el uso de agroquímicos. • Incremento en los costos de manejo del cultivo.

Continúa ➔

Aspecto	Con implementación	Sin implementación
Selección de áreas en el predio para el cultivo de marañón	• Seleccionar áreas que cumplan con los requerimientos garantiza mejores producciones y menores procesos de adecuación y manejo del terreno.	• Menor desarrollo de las plantas y menor productividad. • Disminución de la tasa de sobrevivencia de las plantas en el cultivo, lo cual implica resiembra de plantas o menor productividad por área. • Mayor dependencia de insumos para suplir necesidades del cultivo. • Incrementos en los costos para adecuación del cultivo durante la etapa de siembra y manejo del cultivo.
Cambio de uso de la tierra	• El proceso de planificación predial permite tomar decisiones informadas y evitar o disminuir las emisiones de dióxido de carbono por cambio de uso de coberturas.	• Aumento de emisiones de GEI por procesos de deforestación. • Impacto y degradación de ecosistemas naturales y pérdida de hábitats.

Gestión del material de siembra

El material de siembra incide en las características de productividad y eficiencia en el uso de los recursos por su adaptación a los suelos y clima de una región. Esto se traduce en una mayor o menor acumulación de biomasa y producción por unidad de área. Su calidad genética, sanitaria, fisiológica y física será fuente y soporte de la producción de marañón durante décadas.

Conceptualización

La gestión del material de siembra consiste en organizar y planear todas aquellas estrategias/prácticas destinadas a obtener y disponer de manera oportuna el material vegetal con criterios de calidad. Este proceso inicia antes del establecimiento y debe ser cuidadosamente

planeado y realizado por el productor, de la mano del técnico o extensionista. Esta acción, además de considerar prácticas que influyen en la producción de bienes (nuez, seudofruto y almendra), también debe incluir estrategias para la mitigación de emisiones de GEI, el secuestro de carbono y la adaptación a una oferta de clima cambiante.

Aspectos a tener en cuenta

Selección de la genética: las variedades o clones registrados y recomendados para la altillanura plana de la Orinoquia (ante el Registro Nacional de Cultivares) deben ser empleados por su adaptación y alta producción. Los materiales registrados actualmente son: Corpoica Mapi-ria Ao1, Corpoica Yopare Ao2 y Corpoica

Yucao Ao3. Por su parte, el patrón recomendado para la injertación de estos materiales es el genotipo 36-80, dada su rusticidad y adaptación.

Forma de propagación: este aspecto influye significativamente en el crecimiento y desarrollo de los árboles, así como en su rendimiento. En marañón, es recomendable el uso de plantas injertadas, ya que permite mantener las características sobresalientes de los genotipos seleccionados.

Producción del material vegetal para viveristas: revisar la normatividad exis-

tente para la producción de material vegetal, planificar y diseñar la infraestructura para la producción de marañón e identificar los recursos necesarios como varetas, yemas, sustrato, tubetes y fertilizantes, para optimizar su uso.

Adquisición del material vegetal: programar fechas de trasplante al inicio de las lluvias, haciendo uso de la herramienta de predicción climática, y de acuerdo con la disponibilidad de material vegetal.

Ventajas y desventajas de implementar o no las recomendaciones

Aspecto	Con implementación	Sin implementación
Selección de la genética registrada y recomendada para la altillanura	- Mayor adaptación a las condiciones locales. - Mayor potencial productivo. - Eficiencia en el uso de los recursos. - Menor riesgo frente a la variabilidad climática. - Incremento en la captura y fijación de carbono.	- Baja producción y menor desempeño productivo. - Mayores costos para lograr resultados similares a los esperados en agroecosistemas bajos en carbono. - Mayor vulnerabilidad a las condiciones locales y a la dependencia de insumos. - Mayores emisiones de GEI.
Uso de plantas injertadas	- Homogeneidad en la producción y calidad del producto final. - Menores costos asociados a la gestión del cultivo. - Mayor facilidad de ejecución de las labores agrícolas.	- Ineficiencia en las labores agrícolas. - Rendimientos y calidad variable. - Mayores costos a largo plazo.

Continúa ➡

Aspecto	Con implementación	Sin implementación
Producción del material vegetal para viveristas	• Material vegetal con criterios de calidad en viveros registrados con la normativa sanitaria. • Infraestructura acorde con la capacidad y demanda de material. • Reducción en la pérdida de material vegetal por variaciones en el clima al diseñar una infraestructura acorde con las necesidades del marañón. • Optimización de uso de los recursos. • Menores emisiones por emplear material adaptado a condiciones locales.	• Menor eficiencia en el uso de los recursos. • Plantas susceptibles a pérdida por variaciones en el clima y problemas sanitarios en vivero. • Menor crecimiento y desarrollo, y por tanto menor captura y fijación de carbono.
Adquisición del material vegetal	• Mayor potencial productivo. • Mayor eficiencia en el uso de insumos.	• Pérdida del material vegetal trasplantado. • Mayores emisiones GEI.



Módulo III. Buenas prácticas para la gestión integrada del cultivo del marañón

Foto: Xiomara Pulido

Gestión para el establecimiento

Conceptualización

La gestión para el establecimiento se refiere al conjunto de acciones que se realizan para trasladar a sitio definitivo el material vegetal que será el soporte del agroecosistema, con el objetivo de incrementar el desempeño productivo, la captura de carbono y reducir las emisiones de GEI.

Aspectos a tener en cuenta

Distancia de siembra: en primera instancia, depende del desarrollo vegetativo de la variedad a usar y su interacción con la fertilidad de los suelos. Debe emplearse la distancia de siembra recomendada para las variedades adaptadas. Así se consigue un equilibrio entre el desarrollo del árbol y la producción, lo que se traduce en una mayor eficiencia productiva y una mayor captura de carbono. De igual forma, es necesario considerar la gestión de podas a realizar.

Uso de maquinaria: en las diferentes labores previas al establecimiento, es indispensable considerar la estructura frágil de los suelos de la región al momento de emplear maquinaria. El exceso de laboreo de estos suelos genera erosión y rompe los agregados; además, el volteo de los suelos genera emisiones de dióxido de carbono. Para esta región se recomienda la mínima laboranza. Se consideran actividades como destronque (en caso de ser necesario), preparación y aplicación de enmiendas e incorporación, y ahoyado.

Época de realización de las labores de preparación: se recomienda programar las actividades al menos un mes antes del establecimiento, cuando la humedad de los suelos sea adecuada. Para lograrlo, es importante tener en cuenta la información de la predicción climática generada en las Mesas Técnicas Agroclimáticas (MTA).

Aplicación de enmiendas: se recomienda el uso de cal dolomita antes de la siembra para aumentar la saturación de bases en caso de que el suelo lo requiera, y como fuente de Ca y Mg de bajo costo para estos suelos con baja fertilidad natural. En este momento se pueden aplicar las fuentes fosfóricas directamente en sitio de trasplante, en bandas (franjitas) o en la totalidad del lote.

Materia orgánica: se debe emplear únicamente si está bien descompuesta, libre de cualquier material extraño contaminante, libre de semillas de malezas y sin organismos patógenos.

Trasplante: teniendo en cuenta las características del clima de la región, se recomienda hacer el trasplante a sitio definitivo al inicio de la época de lluvias, que normalmente se da entre abril y mayo y se mantiene hasta noviembre del mismo año. Otro factor que puede condicionar la época de siembra es la disponibilidad de plantas injertadas. Se recomienda revisar el apartado de gestión del material de siembra para planear oportunamente esta actividad y que no sea un limitante.

Gestión de la nutrición

Conceptualización

Aunque el cultivo de marañón se adapta muy bien a condiciones de baja fertilidad, requiere de una buena gestión de fertilización para obtener un buen rendimiento. Sin embargo, es recomendable tener en cuenta que la cantidad, frecuencia y tipo de fertilizantes dependen de la disponibilidad, de las características del suelo y la gestión que este ha tenido, así como de la variedad o clon empleado.

Aspectos a tener en cuenta

Clon empleado: los clones Mapiria, Yopare y Yucao injertados en el genotipo 36-80 pueden alcanzar altos rendimientos con bajas cantidades de fertilizantes, en relación con el genotipo 83-15 ampliamente sembrado en la región. Sin embargo, se aconseja seguir las recomendaciones para los clones a establecer, teniendo en cuenta los resultados del análisis de suelo.

Fuentes nutricionales: se debe considerar que las fuentes y dosis de fertilizantes no solo determinan el impacto en la eficiencia productiva, sino también en las emisiones de GEI. Se estima que el uso de la urea (NH_2CO), como componente base del producto, produce emisiones de óxido nitroso (N_2O), un GEI con un potencial de calentamiento global 273

veces mayor al de CO_2 , por lo cual debe emplearse adecuadamente. Es recomendable el uso de fuentes alternativas de nitrógeno (N) a la urea que contribuye a la emisión de GEI. Aplicaciones en altas cantidades pueden contaminar el suelo, disminuir su microbiología y aumentar su acidez.

Abono orgánico: el uso de los abonos orgánicos como fuentes de N mejora las características físicas del suelo, a la vez que contribuye a la actividad biológica. Estos abonos deben tener un proceso de maduración completo, es decir que su descomposición total se debe llevar a cabo antes de su aplicación.

Cultivos intercalados y cultivos de servicio: son una estrategia empleada para diversificar no solo la actividad productiva (en el primer caso), sino también para recuperar o mejorar funciones y servicios ecosistémicos. Dependiendo de las especies empleadas, estas pueden ayudar a mejorar la función de soporte y regulación, contribuyendo por tanto a retener la humedad del suelo, fijar nitrógeno, almacenar carbono orgánico del suelo y mejorar la eficiencia en el uso de recursos empleados para la gestión de la nutrición, particularmente en suelos con baja capacidad de retención, como lo suelen ser en el Vichada.

Gestión integrada de plagas y enfermedades

Conceptualización

El manejo integrado de plagas y enfermedades en la gestión integrada del cultivo agrupa todas aquellas acciones encaminadas a reducir las pérdidas ocasionadas por plagas, a la vez que se conservan y/o restauran los servicios ecosistémicos, se reduce la intensidad de GEI por unidad de producto obtenido y se mejora la resiliencia del agroecosistema ante eventos de variabilidad climática. Estas actividades deben trascender el predio, puesto que manejos inadecuados en el entorno, por ejemplo, en otros predios dentro del paisaje, pueden conllevar problemas sobre el ecosistema y, por tanto, sobre los servicios de soporte vital brindados por este.

Aspectos a tener en cuenta

Enfoque integral: para realizar un adecuado manejo de plagas y enfermedades en un esquema de producción bajo en carbono, es necesario combinar diferentes prácticas que permitan mantener una baja presión de estas, disminuir las emisiones manteniendo la eficiencia productiva, conservando la inocuidad de los alimentos y el medio ambiente. Esto es, considerar aspectos preventivos, evitar la pérdida de biodiversidad y hacer uso del control biológico.

Clones empleados: el uso de material genético con adaptación a las condiciones edafoclimáticas de la región permite tener plantaciones con mayor tolerancia a enfermedades y plagas y, por tanto, re-

quiere una menor demanda de productos para su manejo y control.

Incrementar la biodiversidad: mayores niveles de biodiversidad mejoran la resiliencia de los agroecosistemas. La diversificación promueve la presencia y permanencia de enemigos naturales de plagas o potenciales plagas, reduciendo el riesgo ante eventuales problemas ocasionados por la variabilidad climática. Esta diversificación puede ser, entre otras, productiva o por la introducción de cultivos de servicio.

Monitoreos: la identificación y el monitoreo permanente de plagas y enfermedades permite definir un manejo oportuno y localizado ante la eventual presencia de estos, combinando racionalmente estrategias culturales, biológicas y químicas como última medida. Este seguimiento permitirá la toma rápida e informada de decisiones, si se hace continuamente, puesto que su comportamiento es dinámico. Las plagas y enfermedades que más afectan el cultivo del marañón en la altillanura son sibine, *Stenodiplosis*, antracnosis y oídio, que deberían ser consideradas en primer lugar para hacer seguimiento; sin embargo, se debe prestar atención a otros potenciales problemas.

Otras prácticas: el uso de prácticas culturales como control de arvenses hospederas o podas de formación y mantenimiento son estrategias para evitar o reducir el daño de plagas y enfermedades, al crear microclimas o condiciones menos favorables para el incremento de sus poblaciones.

Gestión de arvenses

Conceptualización

El manejo integrado de arvenses tiene como fin mantener bajos los niveles de infestación de plantas no deseables en los agroecosistemas, e incluyen diferentes estrategias (culturales, físicas y químicas como última medida) para lograrlo. En este modelo bajo en carbono, el objetivo principal no es erradicar las arvenses, sino regular sus poblaciones, de tal forma que no afecten la productividad, pero conservando a la vez la diversidad.

Aspectos a tener en cuenta

Monitoreo de poblaciones: se deben identificar y cuantificar las poblaciones de las arvenses que se presenten en el predio, de tal manera que se pueda hacer un control localizado de arvenses muy agresivas y mantener especies de baja interferencia o arvenses nobles. El propósito es buscar un balance entre la

abundancia, diversidad y composición de las comunidades.

Diseño del agroecosistema: la diversidad temporal y espacial en el cultivo es una estrategia útil para reducir la abundancia de arvenses. En marañón, estos diseños pueden minimizar la competencia de las arvenses por los recursos destinados para el cultivo. En agroecosistemas bajos en carbono, el aumento en la diversidad funcional fomenta el control a través de enemigos naturales, lo que mejora la eficiencia productiva y reduce la dependencia de recursos externos.

Control manual: el control manual es una opción para eliminar las arvenses o “plantas indeseables” que están alrededor de los árboles de marañón, con el objetivo de disminuir la competencia de nutrientes y facilitar las labores de cosecha de las nueces, la cual se realiza en el suelo.

Manejo de podas

Conceptualización

La poda es la actividad mediante la cual se eliminan estructuras vegetales vivas o muertas de árboles en pie. Dado que esta práctica afecta fuertemente la estructura del árbol, y por tanto la fijación de carbono, en agroecosistemas de marañón bajos en carbono su gestión debe ser cuidadosamente desarrollada.

Aspectos a tener en cuenta

Tipos de poda y función: en marañón se pueden mencionar dos tipos de poda, la de formación y la de mantenimiento, esta última puede incluir aclareo, realce y gestión sanitaria. La poda de formación se realiza en los primeros años y permite la conformación adecuada para la vida adulta del árbol. Consiste en realizar un despunte en el crecimiento apical, para inducir la brotación de las ramas

principales que serán el soporte de todas las ramas vegetativas y productivas del árbol. Las podas de mantenimiento consisten en retirar todas las ramas con crecimiento hacia el suelo, lo que permitirá facilitar las labores culturales y la cosecha de los frutos. Las ramas secas o enfermas deben ser retiradas, así como las ramas con crecimiento vertical al interior del árbol (chupones ladrones).

Arquitectura de la planta: las podas en los árboles de marañón permiten regular su estructura, facilitar las labores culturales como la cosecha, aumentar la aireación y permitir la entrada de luz, lo que redundará en menores costos, mayor

producción y sanidad de frutos. Estas consideraciones tendrán un efecto positivo sobre la eficiencia productiva y ambiental, al evitar espacios propicios para el desarrollo de enfermedades.

Recomendaciones generales: se deben emplear herramientas adecuadas para cada tipo de ramas, hacer cortes limpios y cicatrizar cuando sea necesario. Los residuos resultantes de las podas deben ser retirados y pueden emplearse para la preparación de compost, para lo cual es recomendable fraccionarlo en secciones muy pequeñas que faciliten el proceso.

Ventajas y desventajas de implementar o no las recomendaciones

Aspecto	Con implementación	Sin implementación
Distancias de siembra	Mayor eficiencia productiva y una mayor captura de carbono.	Altas distancias de plantación reducen la producción por unidad de área, la cobertura global de los suelos y la fijación del carbono. Distancias muy cortas incrementan la competencia por luz, hay mayor humedad y favorecen enfermedades.
Épocas de realización de labores de preparación	Mayor eficiencia en el uso de los insumos aplicados.	- Daño en maquinaria y/o en suelo. - Mayores emisiones de GEI.
Aplicación de enmiendas	- Mejor desarrollo de los árboles. - Menores costos al emplear fuentes más económicas.	Crecimiento retrasado que puede afectar la productividad.
Clon empleado (nutrición)	- Eficiencia productiva. - Mayor acumulación de biomasa. - Menores emisiones de GEI por adaptación a condiciones locales.	Mayores costos al usar clones no adaptados a la región o con mayor demanda nutricional.

Continúa →

Aspecto	Con implementación	Sin implementación
Fuentes fertilizantes	Fuente, dosis y momento de aplicación oportunos de acuerdo con las características del suelo favorecen la eficiencia productiva, la reducción de GEI y la mejora en la captura de carbono.	Aplicaciones excesivas tendrán un efecto negativo sobre la eficiencia productiva, el suelo y cuerpos de agua del paisaje.
Cultivos intercalados y cultivos de servicio	- Mayor diversificación productiva, ampliando posibilidad de ingresos económicos. - Mayor aprovechamiento de los recursos suelo, luz (energía solar) y agua. - Competencia natural contra arvenses agresivas. - Mayor eficiencia al aumentar los gastos evitados en labores que requieren insumos externos.	- Menor eficiencia productiva y mayor huella de carbono por requerir mayor cantidad de insumos para lograr los mismos objetivos que en un agroecosistema bajo en carbono. - Menores ingresos por unidad de área. - Menor almacenamiento de COS. - Servicios ecosistémicos limitados a la provisión.
Enfoque integral e incremento de biodiversidad funcional	- Restauración y/o conservación de funciones ecosistémicas. - Mayor eficiencia productiva y ambiental. - Menor inversión de fuentes energéticas externas y dependencia de estas. - Reducción en emisiones de GEI. - Salud en plantas y suelo. - Mayor resiliencia. - Gastos evitados y reducción de ineficiencias en el agroecosistema. - Modelo de producción y negocio diversificado. - La vinculación de cultivos de servicio o intercalados favorece el almacenamiento de COS y la restauración de funciones ecosistémicas de soporte y regulación.	- Daño sobre el desarrollo y productividad de los árboles de marañón. - Reducción del área foliar que afecta la fotosíntesis y las reservas para la floración y desarrollo de los frutos. - Impacto negativo en la producción y, por ende, en la eficiencia productiva. - Mayor vulnerabilidad de los agroecosistemas a eventuales problemas sanitarios o estrés ocasionado por variabilidad climática.
Monitoreos	Toma de decisiones informada y oportuna.	Resistencia de las plagas y enfermedades, contribuyendo de manera significativa a las emisiones de GEI.

Continúa →

Aspecto	Con implementación	Sin implementación
Diseño del agroecosistema	• Diversidad funcional que favorece el desempeño productivo y ambiental. • Oportunidad de planificar estrategias para mejorar el desempeño productivo y ambiental, evitando costos por reducción en la dependencia de fuentes energéticas externas e incrementando las sinergias. • Mayor resiliencia del agroecosistema.	• Menores oportunidades en mercados diferenciales, y por tanto menores ingresos. • Funciones ecosistémicas restringidas por enfocar los esfuerzos en la provisión de un solo producto por unidad de área. • Mayores costos de producción, impacto de huella ambiental y menor productividad por unidad de área.
Podas y recomendaciones generales	• Mayor eficiencia en el uso de la luz y estructuras vegetativas útiles para la producción, y no solo para mantenimiento. • Eficiencia en el uso de los recursos y diseño empleado en el agroecosistema. • Aprovechamiento de residuos obtenidos para la recirculación. • Renovación de estructuras que favorecerán la producción y fijación de carbono.	• Plagas y enfermedades con condiciones favorables para su establecimiento y permanencia. • Dificultad en las labores de campo, incluyendo la cosecha, y menor eficiencia. • Menor productividad por unidad de biomasa producida por la planta.



Módulo IV. Buenas prácticas de cosecha y procesamiento de marañón

Foto: Diana Mateus

Conceptualización

Para preservar la calidad, sanidad, higiene e inocuidad del producto obtenido previamente en el campo, es necesario realizar buenas prácticas durante la re-

colección, empaque y almacenamiento, y distribución al centro de transformación que permitan reducir las emisiones y aumentar la eficiencia de los procesos.

Aspectos a tener en cuenta

Recolección

- La cosecha de las nueces se hace generalmente cuando caen al suelo. Esta práctica permite asegurar la madurez de todas las nueces cosechadas. Por lo anterior, es indispensable en estos casos adecuar previamente el área de la gotera del árbol, de tal forma que permita al personal comodidad y eficiencia en la recolección.
- Todos los utensilios como baldes, costales o recipientes utilizados para contener las nueces cosechadas deben estar limpios y deben ser adecuados para su manipulación y transporte.
- Para evitar la contaminación cruzada, durante esta etapa es necesario desechas las nueces dañadas y eliminar residuos de pedúnculo o pseudofruto.

Secado

- Las nueces se secan al sol por un periodo hasta de tres días. El contenido de humedad debe reducirse hasta un 6 % para garantizar adecuada sanidad de las nueces durante el almacenamiento. Si no cuenta con medidores de humedad, puede verificar el contenido de humedad al sacudir y chocar las nueces unas con otras,

producirán un sonido seco y vidrioso característico.

- El secado se debe realizar idealmente en un piso de concreto; cuando el tiempo sea lluvioso, se deben cubrir las nueces o secarse bajo techo, ya que se pudren fácilmente si se dejan en la superficie debido a la humedad del suelo.
- Durante el proceso de secado, deben removerse las camadas de nueces para una mejor aireación y cubrimiento de la luz solar. Aquí se debe considerar la eliminación de todo material extraño contaminante, además de las nueces dañadas que no se seleccionaron durante la recolección.

Empaque y almacenamiento

- Las nueces se deben empacar en sacos de fique de 50 kg tanto para el almacenamiento como para el transporte directo a la planta de procesamiento. Los empaques de polipropileno aumentan las emisiones de GEI.
- El almacenamiento de las nueces debe realizarse en lugares secos, ventilados, aseados, separados de las paredes y

sobre estibas de madera en buen estado que las separen del piso. No se deben almacenar las nueces junto con combustibles o agroquímicos.

- Es fundamental asegurar las condiciones ambientales de la estructura de almacenamiento, que facilite la libre circulación de los productos y del personal. Debe poseer techo, ventanas y puertas selladas que impidan el ingreso de plagas o animales.
- Todas las superficies en contacto con los costales deben estar limpias y ser fáciles de lavar, construidas con materiales no tóxicos y resistentes a la corrosión.
- Se debe propender al uso racional de productos y aplicar prácticas para

reducir la proliferación de contaminantes bióticos, a fin de conservar la calidad e inocuidad de los frutos.

Transporte

- Para el transporte de la nuez, ya sea dentro de la finca o hacia el sitio de procesamiento o venta, se deben considerar aspectos como el estado mecánico del vehículo destinado para el transporte, así como su limpieza. No deben transportarse con otros materiales o agroquímicos que puedan contaminar las nueces. No se recomienda utilizar plaguicidas durante el transporte.

Ventajas y desventajas de implementar o no las recomendaciones

Aspecto	Con implementación	Sin implementación
Recolección y secado	Mayor eficiencia en el agroecosistema por unidad de producto procesado.	Mayores pérdidas del producto cosechado por malas prácticas en cosecha y poscosecha. Mayores costos de producción por unidad de análisis.
Empaque y almacenamiento	Mayor vida útil y calidad del producto a comercializar. Relación costo beneficio favorable.	Pérdida de producto y menores oportunidades de comercializar producto en mercados exigentes. Pérdidas en rendimiento por unidad de análisis, incluyendo la inversión en campo.



Módulo V. Gestión técnica, administrativa y financiera

Foto: Diana Mateus

Conceptualización

Las tareas de gestión integral en la agricultura requieren el soporte de herramientas para la toma de decisiones ligadas a la viabilidad económica y productiva y su trazabilidad, además de su interacción óptima con el entorno. De acuerdo con Sørensen et al. (2010), desde la década de los 2000, la integración de sistemas de información técnica, administrativa y financiera en la agricultura permite generar instrucciones formales, pautas recomendadas y requisitos para la toma de mejores decisiones. Además, proporciona estrategias para afrontar los lineamientos de una visión de la agricultura con un enfoque no solo de cantidad, sino de calidad y sostenibilidad, que pueden ser monitoreados a través de mecanismos de trazabilidad.

La aplicación de un sistema de gestión integral en agroecosistemas de marañón

bajo en carbono determina acciones para la implementación y el desarrollo óptimo de diversas tareas que implican decisiones de acciones técnicas. Igualmente, para el cumplimiento de estándares de gestión como requisitos previos para subvenciones, como, por ejemplo, de reducción de emisiones de GEI o captura de carbono. No obstante, el conjunto de información (registros de actividades y procesos o de información climática, el control de costos y su relación con las utilidades o los inventarios de insumos, entre otros) permitirá tomar decisiones al interior del sistema productivo de marañón. Las decisiones de intervención técnica, las necesidades de contratación de personal o la optimización de los costos de producción pueden ser más eficientes desde la gestión de información administrativa y financiera.

Herramientas técnicas

Las herramientas técnicas para la gestión de agroecosistemas de marañón bajo en carbono son aquellas que permiten monitorear y promover la evolución y mejoramiento continuo. Los registros de seguimiento de cada una de las actividades, como el uso de enmiendas, fertilizantes, control de plagas y enfermedades, podas y recolección de nueces, al igual que la información climática recolectada en la finca o la suministrada por un tercero, entre otros aspectos, pueden ser llevados a cabo mediante una bitácora de gestión integral.

De otro lado, los cálculos estimados de la huella de carbono de los agroecosistemas de marañón se determinan de acuerdo con la metodología presentada en la *Guía de campo para la estimación de factores de emisión y captura de gases de efecto invernadero (GEI) en agroecosistemas de marañón*. Considerando las actividades allí mencionadas, podrá llevar un control de sus acciones de mejoramiento continuo por inclusión de buenas prácticas para incrementar el desempeño productivo y ambiental.

Herramientas administrativas

Las herramientas administrativas en los agroecosistemas de marañón bajo en carbono consideran diferentes componentes que apoyan la toma de decisiones de control y planificación estratégica en el modelo de negocios. Dentro de las principales herramientas se encuentran el ma-

nual de funciones del personal en la finca y la empresa, y los inventarios de activos e insumos. Asimismo, el manual de operaciones y buenas prácticas, seguimiento y control, que puede ser creado a partir de los diagramas de flujo de la cadena de valor de marañón que muestra la figura 5.

Herramientas financieras

La documentación financiera en el agroecosistema de marañón bajo en carbono se lleva a cabo a partir de los cálculos exactos de egresos e ingresos en cada una de las actividades o procesos desarrollados, así como de los activos y pasivos asociados al sistema productivo. De esta manera, se pueden generar estrategias de optimización del manejo de compras, proveedores, clientes y contabilidad en general. Según Akuriba et al. (2021), la documentación financiera es particularmente importante y tiene en cuenta todos los costos fijos, costos variables, inversión de capital y el patrimonio del productor. En general, dentro de las variables se deben incluir los costos de insumos y de ejecución de prácticas agrícolas, los costos de créditos, los costos de asesoría y capacitación, los costos de procesamiento, los costos de transporte y los costos de mercadeo. Adicionalmente, deben incluir cálculos de relación entre los costos y los rendimientos para asegurar la viabilidad del modelo de negocio y su competitividad. Esta documentación puede estructurarse en un libro de cálculo de Excel.

Análisis costo beneficio: el análisis costo beneficio en la implementación de estrategias y buenas prácticas agrícolas para la reducción de emisiones de GEI o el incremento de la captura de carbono en agroecosistemas de marañón en la Orinoquia es importante porque permite evaluar las relaciones entre el desempeño productivo y ambiental, entre otros aspectos. Con este procedimiento es posible identificar todos los costos y beneficios sociales de un modelo de negocios asociados a una cadena de valor de marañón, que integra aspectos económicos, sociales y ambientales para su competitividad. Este indicador estima el valor monetario de cada uno los aspectos evaluados y luego compara la suma de los costos con la suma de los beneficios (Dorman, 2014).

Costos evitados: los costos evitados son los ahorros incrementales asociados a la optimización de procesos en los sistemas productivos de marañón bajo en carbono. De acuerdo con Beecher (2010), los costos evitados están asociados con la prevención de no producir efectos de contaminación e incrementar los costos

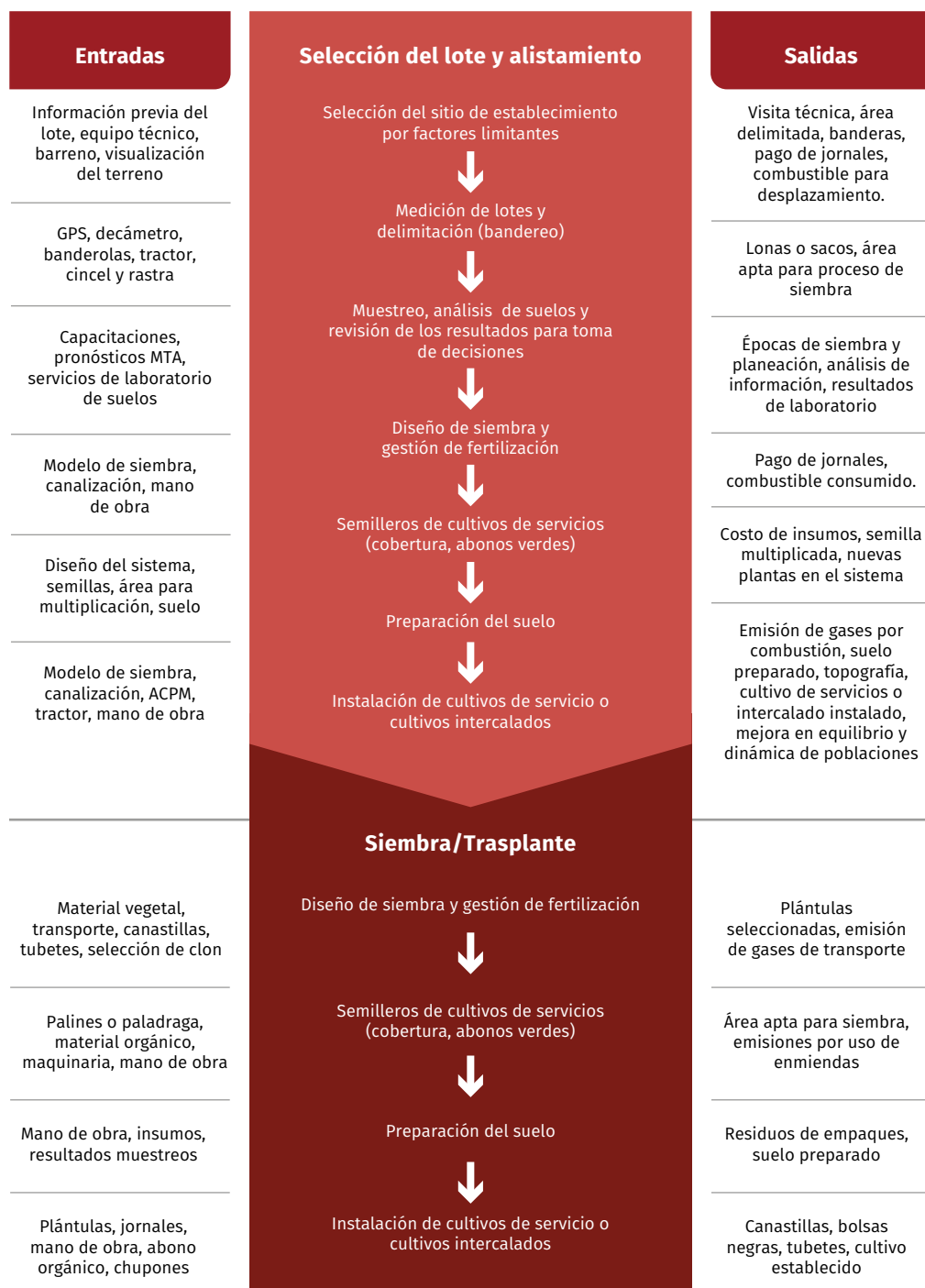


Figura 5.
Diagrama general del flujo de la producción de marañón.
Fuente: Elaboración propia, validada con productores.

para generar unidades adicionales del bien o servicio ambiental para satisfacer la demanda. En el agroecosistema de marañón bajo en carbono, pueden estar asociados a los costos evitados por pérdidas por lixiviación o emisiones de GEI asociados al uso ineficiente de fertilizantes nitrogenados.

Rentabilidad: La rentabilidad agrícola en un agroecosistema de marañón bajo en carbono puede definirse como la expresión del resultado obtenido por el agricultor de la actividad productiva, transformación e intercambio de sus bienes o servicios en el mercado.

Ventajas de implementar la recomendación

La importancia de integrar la información técnica, administrativa y financiera en un sistema de gestión está relacionada con las oportunidades que brinda a productores que buscan valor agregado en el agroecosistema de marañón. A continuación, se presentan las acciones que pueden ser implementadas a partir del sistema de gestión.

- Mecanismos de trazabilidad para el seguimiento de las actividades de trabajo habituales, procesos e ingresos de insumos y registro general de información general, con acceso rápido y fácil.

- Mecanismos de planificación y evaluación de riesgos productivos, financieros y de mercados.
- Mecanismos para las decisiones de gestión de actividades cotidianas o solución de problemas.
- Mecanismos de planificación y evaluación de beneficios por implementación de buenas prácticas agrícolas para la reducción de emisiones o el incremento de la captura de carbono.
- Mecanismos para facilitar el control de procesos en prácticas agrícolas, poscosecha o procesamiento.
- Mecanismos de evaluación y seguimiento de ingreso y uso de insumos que incrementen o disminuyan la huella de carbono.
- Mecanismos de monitoreo para lograr niveles de calidad de los bienes y servicios del agroecosistema de marañón ofertados en el mercado.
- Mecanismos para potenciar el mercado a través de autodeclaraciones o certificaciones.
- Mecanismos que facilitan las auditorías o la verificación de implementación de acciones productivas o ambientales por parte de terceros.
- Mecanismos de autoevaluación, autocontrol y mejoramiento continuo en acciones productivas y ambientales.



Módulo VI. Ecoeficiencia

Foto: Xiomara Pulido

Indicadores de desempeño ambiental

Conceptualización

El desempeño ambiental de los agroecosistemas de marañón bajos en carbono está determinado por la implementación de buenas prácticas de gestión que promuevan la reducción de emisiones de GEI, la conservación de los recursos y la biodiversidad, con respecto a los beneficios recibidos por comercialización de bienes y servicios. El mejor desempeño ambiental en estos agroecosistemas implica gestionar de manera eficiente los recursos y optimizar el uso de insumos, así como el establecimiento de acciones para la producción-conservación. De esta manera, el desempeño ambiental permite evaluar el efecto de la actividad sobre la calidad del ambiente. Por ejemplo, en la atmósfera por emisiones de GEI, el suelo por incremento en su calidad para los cultivos de marañón o la captura de carbono, en el agua por disminución de uso de agroquímicos que puedan afectar su calidad y en biodiversidad por prácticas de conservación de especies estratégicas. En las acciones o estrategias para mejorar el desempeño ambiental también se evalúan los aspectos que tienen relación con la manera en que la actividad acompaña al desarrollo local y contribuye a la mejora continua de los medios de vida de los involucrados en las actividades productivas en paisajes sostenibles con matriz marañonera.

Aspectos a tener en cuenta

Diversidad productiva: la diversidad productiva en los agroecosistemas de

marañón bajo en carbono determina las estrategias de generación de múltiples beneficios al interior del sistema, ya que aumentan las sinergias y hay menor dependencia de insumos externos, así como una mayor resiliencia a condiciones ambientales o de mercado adversas. Se calcula mediante la determinación del número de especies vegetales o animales que son utilizadas de manera directa o indirecta y que benefician al agroecosistema: número y área de cultivos de cobertura, plantas fijadoras de nitrógeno, número de especies y área de bosques de galería, relictos de bosque o sabanas nativas (cantidad de morfoespecies funcionales en el agroecosistema y área de conservación).

Uso de agua por unidades de análisis: este indicador define la eficiencia en el uso de agua, así como su potencial contaminación con relación a la producción de un kg de nuez producida, kg de almendra procesada o kg de pseudofruto cosechado. En agroecosistemas de marañón bajos en carbono, se calcula mediante la determinación del uso de agua de precipitación o agua de riego, el agua de evapotranspiración en el cultivo de marañón y el agua potencialmente contaminada por uso de agroquímicos (litros de agua por kg de producto).

Uso de suelo por unidades de análisis: el suelo es la base de soporte de los agroecosistemas de marañón bajos en carbono. Los cambios en el uso del suelo y sus prácticas de gestión están relacionados con los requisitos de productivi-

dad en el cultivo de marañón. Por tanto, las estrategias de conservación a partir de la planificación de áreas de siembra y conservación, las actividades de laboreo y el uso de maquinaria apropiada y el mantenimiento de coberturas vegetales pueden determinar la conservación o incremento del potencial de captura de carbono en paisajes sostenibles. Su análisis se hace mediante la relación del área biológicamente productiva para garantizar la producción sostenible de bienes y servicios en agroecosistemas de marañón (hectáreas por kg de producto y almacenamiento de carbono orgánico del suelo en 20 años).

Uso de fertilizantes por unidades de análisis: los fertilizantes nitrogenados son una de las fuentes determinantes de emisiones directas de N_2O , por lo tanto, la eficiencia en su uso y aplicación favorecen la gestión de agroecosistemas de marañón bajos en carbono. La eficiencia en el uso de fertilizantes nitrogenados y no nitrogenados responde a las estrategias de selección de tipo correcto, dosis y aplicación correctas. Su análisis se hace mediante la relación entre los kg de fertilizantes nitrogenados por kg de nuez producida, kg de almendra procesada o kg de pseudofruto cosechado y los costos asociados (kg de N-fertilizante por kg de producto y kg de $C-CO_2$ eq por los costos).

Balance de energía interna y externa: la eficiencia energética es fundamental en los agroecosistemas de marañón bajos en carbono. La relación entre el tipo y cantidad de energía utilizada con la biomasa producida determinan la sostenibilidad de un agroecosistema, ya que

estos son sistemas abiertos que interactúan y tienen efectos sobre los procesos de la naturaleza y la sociedad. Este indicador mide la energía y el tipo de energía interna y externa utilizada en el cultivo para producir bienes (MJ de energía interna/externa por kg de producto).

Emisiones de GEI por unidades de análisis: la reducción de emisiones de GEI en agroecosistemas de marañón bajo en carbono son la meta en los paisajes sostenibles de la Orinoquia. Este componente está asociado a múltiples prácticas para la gestión del cultivo, desde la planificación predial, la conservación de los suelos, la eficiencia en el uso de fertilizantes nitrogenados y cal o la recirculación de residuos. El análisis de este indicador se realiza mediante la relación entre las emisiones de GEI directas e indirectas para la producción de un kg de nuez producida, kg de almendra procesada o kg de pseudofruto cosechado (kg de $C-CO_2$ eq por kg de producto o hectárea de cultivo y su productividad).

Fijación y captura de carbono por unidades de análisis: los agroecosistemas de marañón fijan y almacenan carbono en la biomasa subterránea y superficial como consecuencia del proceso fotosintético, aunque también lo reemiten a la atmósfera a través de procesos de respiración y descomposición. Asimismo, las prácticas de gestión del suelo incrementan su capacidad para secuestrar y almacenar carbono. El indicador se determina mediante la relación kg de carbono fijado más kg de carbono capturado en suelo por kg de producto o hectárea de cultivo

con su productividad (kg de stock de carbono por kg de producto/ha de cultivo con su productividad).

Dinámica de carbono por unidades de análisis: la dinámica de carbono en agroecosistemas de marañón bajo en carbono se determinará como la relación entre las emisiones de GEI resultan-

tes de la producción de un kg de nuez, un kg de almendra procesada o kg de pseudofruto cosechado y las remociones, con respecto a la fijación y captura de C asociada con las prácticas de gestión (kg de C-CO₂ eq – kg de C-CO₂ removidos – kg C-CO₂ emitidos en hectárea con su productividad).

Ventajas y desventajas de implementar o no la recomendación

Aspecto	Con implementación	Sin implementación
Diversidad productiva	• Bienes y servicios de agroecosistemas de marañón con menores emisiones de GEI. • Mejores oportunidades en mercados de biodiversidad o pagos por servicios ambientales (PSA). • Agroecosistemas con generación de bienes y servicios bajos en carbono y con mayor biodiversidad que benefician al productor por acceso a nuevos modelos de negocios en mercados competitivos a nivel global con mejores ingresos. • Conocimiento de estrategias para el incremento de propiedades funcionales y mayor provisión de servicios ecosistémicos en agroecosistemas de marañón bajo en carbono. • Mayor información sobre la composición de la biodiversidad en su predio y en el paisaje y sus efectos sobre las sinergias o beneficios que conllevan a menor dependencia de insumos externos, así como una mayor resiliencia a condiciones ambientales o de mercado adversas.	• Productos de agroecosistemas de marañón con mayores emisiones de GEI. • Bajas oportunidades en mercados de biodiversidad o PSA. • Agroecosistemas con generación de bienes y servicios sin diferenciación y sin posibilidad de acceso a nuevos mercados. • Menores ingresos. • Desconocimiento de estrategias para el incremento de la provisión de servicios ecosistémicos. • Bajo conocimiento de biodiversidad asociada a sus cultivos y escasa posibilidad de realizar una gestión sostenible de esta. • Dependencia de uso de insumos externos por baja biodiversidad funcional. • Mayores costos de producción y mayor vulnerabilidad a condiciones ambientales y de mercado adversas.

Continúa →

Aspecto	Con implementación	Sin implementación
Uso de agua por unidades de análisis	• Conocimiento de uso del recurso hídrico para mayor capacidad de generación de estrategias de optimización de procesos para su conservación y uso eficiente. • Generación de bienes y servicios en agroecosistemas de marañón con una menor huella ambiental (huella hídrica) por implementación de estrategias de ecoeficiencia. • Menores costos ambientales y menor impacto sobre uso del recurso en la cuenca.	• Baja implementación de acciones para la optimización y conservación de la calidad del agua en el territorio. • Productos de cadena de marañón con mayor huella ambiental. • Mayores costos ambientales y mayor impacto en la cuenca.
Uso de suelo por unidades de análisis	• Bienes y servicios de agroecosistemas de marañón con menores emisiones de GEI, mayor capacidad de captura de carbono y competitividad del modelo de negocio. • Mayor conocimiento para el desarrollo de estrategias para incrementar la productividad y conservación del recurso suelo. • Menor impacto y huella ambiental (huella ecológica) por implementación de buenas prácticas de conservación de la calidad de suelos y almacenamiento de COS. • Menores costos de producción.	• Productos de agroecosistemas de marañón con mayores emisiones de GEI, menor potencial de captura de carbono y baja competitividad en mercados globales. • Menor productividad del recurso suelo. • Mayor huella ambiental y mayor riesgo de degradación de suelos y sostenibilidad del agroecosistema. • Mayores costos de producción.

Continúa →

Aspecto	Con implementación	Sin implementación
Uso de fertilizantes por unidades de análisis	• Menores emisiones de GEI por implementación de estrategias de manejo eficiente de fertilizantes nitrogenados de síntesis química y, por tanto, menores costos de producción. • Mejor conocimiento para la planificación y uso de fertilizantes nitrogenados y disminución del impacto ambiental y, por tanto, generación de bienes y servicios del agroecosistema de marañón bajo en carbono con un diferencial para el mercado. • Mayor competitividad en el mercado por bienes y servicios de agroecosistemas bajos en carbono con mayores oportunidades en mercados diferenciados y, por tanto, mayores beneficios financieros. • Mayor conocimiento para la implementación de estrategias de biofertilización, que permitan la menor dependencia de insumos externos	• Mayores emisiones de GEI y mayores costos de producción. • Bajo conocimiento para el diseño y planificación de gestión de la fertilización y nutrición eficiente, y mayor impacto ambiental. • Menor competitividad en el mercado y mayores costos de producción. • Mayor dependencia de insumos externos y mayores costos.
Balance de energía interna y externa	• Mayor conocimiento para la generación de bienes y servicios con mayor eficiencia energética y menor dependencia de insumos externos. • Menores costos de producción.	• Generación de productos de marañón con baja eficiencia energética y mayor dependencia de insumos externos. • Mayores costos de producción.
Emisiones de GEI por unidades de análisis	• Menores emisiones de GEI por implementación de estrategias de manejo eficiente de fertilizantes nitrogenados de síntesis química y, por tanto, menores costos de producción. • Mayor conocimiento para determinar puntos críticos de mayor emisión de GEI y tomar acciones para el mejoramiento continuo. • Menores costos de producción y mayor competitividad en mercados de carbono. • Mayor conocimiento para la negociación efectiva en transacciones de mercados de carbono.	• Mayores emisiones de GEI y mayores costos de producción. • Baja capacidad de llevar a cabo acciones para reducir emisiones y determinar procesos de mejoramiento continuo. • Mayores costos de producción y menores oportunidades en mercados de carbono. • Bajas o nulas oportunidades para la negociación efectiva en transacciones de mercados de carbono.

Continúa →

Aspecto	Con implementación	Sin implementación
Fijación y captura de carbono por unidades de análisis	• Agroecosistemas de marañón con mayor <i>stock</i> de carbono y mayor potencial de integrarse en mercados de carbono. • Mayor diversidad de beneficios (ingresos) en nuevos modelos de negocios. • Mayor productividad por unidad de área.	• Agroecosistemas con menor <i>stock</i> de carbono y con bajo potencial de integrarse en mercados de carbono. • Cultivos dependientes de la utilidad del producto final. • Menor productividad por unidad de área.
Dinámica de carbono por unidades de análisis	• Mayor conocimiento para la determinación de acciones para la gestión de agroecosistemas de marañón bajos en carbono. • Mayor productividad por unidad de área. • Mayores fortalezas para negociaciones en mercados de carbono.	• Baja capacidad para determinar acciones para gestionar agroecosistemas de marañón bajos en carbono. • Menor productividad por unidad de área.

Indicadores de desempeño productivo

Conceptualización

El desempeño productivo de los agroecosistemas de marañón bajos en carbono puede incrementarse a través de la producción de múltiples bienes y servicios. La diversificación del agronegocio promueve los beneficios financieros cuando el productor recibe ingresos por variedad de fuentes. El análisis de estos indicadores se debe realizar desde la entrada de materias primas hasta que los productos (frutos frescos, almendras y bebidas) llegan a los consumidores finales, o los servicios como bonos de carbono o biodiversidad son tranzados en el mercado. A este proceso completo se le denomina enfoque de ciclo de vida.

Aspectos a tener en cuenta

El desempeño productivo del agroecosistema de marañón bajo en carbono puede mejorarse a través del análisis de diferentes indicadores. El primer paso es definir de manera concreta la unidad de evaluación a la cual se cargarán todos los indicadores de desempeño. En agroecosistemas de marañón bajos en carbono, la unidad de análisis puede ser: 1 kilogramo de nuez producida, 1 kilogramo de almendra procesada, 1 kilogramo de pseudofruto cosechado (dependerá de cada agroecosistema y los productos o bienes generados).

A continuación, se relacionan los indicadores de desempeño productivo priorizados para agroecosistemas de marañón bajo en carbono:

Rendimiento por unidad de área (tener en cuenta densidad) por unidades de análisis: el rendimiento del cultivo de marañón se compone del número de pseudofrutos, de nueces o el número de almendras de determinada calidad (tamaño y grado de ruptura para almendras) y sus pesos correspondientes, en una unidad de producción (generalmente una hectárea) (kg de producto por ha).

Productividad por unidad de área por unidades de análisis: la productividad del cultivo de marañón bajo en carbono mide la eficiencia de la relación entre el rendimiento y los procesos, actividades/materiales del sistema. Para el caso de marañón bajo en carbono, se determinará como la cantidad de insumos agrícolas internos y externos para producir 1 kilogramo de nuez producida, 1 kilogramo de almendra procesada, 1 kilogramo de pseudofruto cosechado, de acuerdo con la unidad definida (kg de biomasa producida por kg de masa por kg de C-CO₂ eq).

Costo de producción por unidades de análisis: el costo de producción en el cultivo de marañón bajo en carbono representa el valor monetario de los insumos, mano de obra, combustibles, alquiler de maquinaria o renta de la tierra, entre otros, en función de la producción de 1 kilogramo de nuez producida, 1 kilogramo de almendra procesada, 1 kilogramo de pseudofruto cosechado. Para desarrollar este indicador, es necesario llevar registros y costos detallados de la gestión del agroecosistema (dinero invertido por kg de producto).

Costos de prevención ambiental: indica los costos de actividades o prácticas llevadas a cabo para prevenir la generación de contaminantes o residuos que puedan generar daños al ambiente, por ejemplo, emisiones de GEI, contaminación de aguas o degradación de suelos. En agroecosistemas de marañón bajo en carbono se pueden considerar los costos de fertilizantes nitrogenados no aplicados por hectárea y por kg de nuez producida, kg de almendra procesada o kg de pseudofruto cosechado (dinero invertido en prevención ambiental por kg de producto).

Análisis costo beneficio: en agroecosistemas de marañón bajos en carbono, este indicador determina la relación entre los beneficios recibidos por la implementación de buenas prácticas que conduzcan a la reducción de emisiones de GEI, el incremento de la captura de carbono, la conservación de biodiversidad y la conservación de suelos, con respecto a los costos incurridos en la producción de un kg de nuez producida, kg de almendra procesada o kg de pseudofruto cosechado, así como a los beneficios recibidos por diversificación de ventas de bienes y servicios. El análisis se realiza mediante la relación entre los costos de producción, los costos de prevención ambiental y los potenciales beneficios por venta de productos (kg de nuez producida, kg de almendra procesada o kg de pseudofruto cosechado) y servicios (bonos de carbono, bonos de biodiversidad y PSA). (Dinero invertido en producción más dinero invertido en prevención ambiental menos dinero de beneficio neto recibido).

Potencial de fijación y captura de carbono: la cantidad potencial de carbono que puede ser capturado en un agroecosistema de marañón bajo en carbono debe tener en cuenta el volumen y la masa de la biomasa aérea y subterránea de las plantas de marañón y otra vegetación de bosques o relictos de bosque en el predio, ade-

más del potencial por cambio de uso y gestión del suelo. Para este indicador se debe hacer un inventario de los árboles (densidad de siembra del cultivo de marañón), un inventario de áreas de bosque en el predio y una caracterización de los suelos para evaluar con respecto a la información de factores de captura.

Ventajas y desventajas de implementar o no las recomendaciones

Aspecto	Con implementación	Sin implementación
Definición de las unidades de análisis (kg de nuez)	- Mayor claridad de los procesos involucrados en el desarrollo de agroecosistemas de marañón bajo en carbono. - Mejor diseño y planificación de prácticas, estrategias para la gestión del agroecosistema y el desarrollo de registros.	- Menor entendimiento de los procesos asociados a la producción de bienes y servicios en agroecosistemas de marañón bajos en carbono. - Dificultad para la planificación y desarrollo de registros y, por tanto, menor capacidad de negociación y valoración de productos, subproductos y residuos y servicios.
Rendimiento por unidad de área (tener en cuenta densidad) por unidades de análisis	- Mayor capacidad para determinar ineficiencias en la gestión del cultivo de marañón. - Más capacidades para planificar labores de gestión de mantenimiento y cosecha. - Mayor capacidad para determinar acciones de mejoramiento continuo que garanticen la productividad.	- Menor entendimiento de los procesos y dificultad para determinar ineficiencias y puntos críticos. - Menor capacidad para planificar labores y determinar beneficios netos en su modelo de negocios. - Pocas acciones para el mejoramiento continuo que lleven al mejor desempeño productivo.
Productividad por unidad de área por unidades de análisis	- Mayor capacidad para relacionar la eficiencia entre las prácticas de gestión agrícola (incluyendo los costos de producción y ambientales), con la generación de bienes y productos para los mercados especializados. - Mejores precios por calidad y mayores ingresos por diversificación.	- Menor claridad de los indicadores que le permiten obtener bienes y servicios para mercados especializados. - Escasa información para desarrollar estrategias tendientes a incrementar el desempeño productivo. - Menores ingresos y beneficios.

Continúa ➡

Aspecto	Con implementación	Sin implementación
Costo de producción por unidades de análisis	• Claridad del valor monetario de todo lo utilizado en función de la producción de bienes en el cultivo de marañón, lo cual ofrece mayor capacidad de negociación. • Control de la información financiera y el manejo de recursos para la gestión del agroecosistema de marañón bajo en carbono y planificación de márgenes de utilidad e inversiones en mejoramiento continuo.	• Confusión o desconocimiento para establecer acciones de mejoramiento o determinar ineficiencias. • Bajo conocimiento para el control de inversiones y la planificación y gestión del dinero y el sistema productivo.
Costos de prevención ambiental	• Bienes y servicios con una connotación ambiental diferencial, marañón bajo en carbono. • Mayor información para invertir en acciones que disminuyan el impacto de la producción de marañón sobre el ambiente. • Mayor conocimiento de los gastos evitados por determinación de puntos críticos o ineficiencias en el agroecosistema (por ejemplo, emisiones de GEI) y, por tanto, generación de beneficios netos al interior y exterior del agroecosistema. • Mayor capacidad y conocimiento para acceder a mercados diferenciados, certificaciones y mercados de carbono y biodiversidad.	• Productos de marañón para mercados convencionales, sin diferenciación en precios u oportunidades de nuevos negocios. • Baja capacidad de planificación de estrategias para disminuir costos de producción y ahorrar dinero. • Menor capacidad de determinar las relaciones entre el impacto ambiental (emisiones de GEI, degradación de suelos y pérdida de biodiversidad, entre otras), la ineficiencia y los costos de producción. • Pocas posibilidades de acceder a mercados diferenciados y certificaciones.
Análisis costo beneficio	• Claridad en los costos o “valor sacrificado para la producción de bienes y servicios en los agroecosistemas de marañón bajos en carbono y los beneficios presentes o futuros de la implementación de buenas prácticas.	• Desconocimiento para la planificación de acciones en la gestión de buenas prácticas que incrementen los beneficios en el modelo de negocio.

Continúa →

Aspecto	Con implementación	Sin implementación
Potencial de fijación y captura de carbono	- Mayor entendimiento de las estrategias para la planificación y diseño de agroecosistemas de marañón bajos en carbono en paisajes sostenibles y la obtención de bienes y servicios diferenciados. - Mayor conocimiento del potencial de fijación y captura de carbono en los agroecosistemas de marañón y mayor capacidad en acciones de negociación de mercados de carbono.	- Desconocimiento de propiedades de los agroecosistemas para el desarrollo de modelos bajos en emisiones de carbono y productos diferenciados. - Poca capacidad de ingresar en modelos de negocio de carbono.



Guías resumen de buenas prácticas para el establecimiento y desarrollo de un modelo de producción de marañón bajo en carbono en la región de la altillanura colombiana

Foto: Xiomara Pulido

Planeación y establecimiento

1

Determine si las características climáticas y edáficas de la región donde se encuentra son aptas para el desarrollo del cultivo de marañón. Considere la información presentada en el módulo 2.

Consulte a un extensionista

2

A partir de información climática disponible en fuentes como Ideam, CHIRPS y Nasa Power, verifique si la región de interés se encuentra en los rangos de periodos secos requeridos por la especie para su óptimo desarrollo comercial.

3

Consulte el *Estudio general de suelos y zonificación de tierras del departamento del Vichada* (IGAC, 2024), donde podrá encontrar las características de las diferentes unidades cartográficas, lo cual le permitirá tener un primer acercamiento para definir si se presentan zonas aptas a nivel de suelo en el territorio.



4

De acuerdo con el análisis de los puntos anteriores, defina:

4.1

Si en este primer acercamiento no encuentra las características de clima y suelo indicadas, plantee establecer otra alternativa productiva diferente a marañón.

4.2

Si cuenta con estas características, continúe con el punto 5.

5

Haciendo uso de Google Earth Pro o imágenes de satélite, identifique el perímetro de la finca y las coberturas presentes.

6

Identifique si algunas de las coberturas de su predio son susceptibles de conservación (bosques de galería, morichales, saladillales), si están presentes, descarte estas áreas para el desarrollo de la actividad productiva.



7

Mediante un recorrido por su predio, identifique los lotes que tengan plintita (ripio) y aquellos ubicados en bajos. Descártelos para el establecimiento de marañón de interés comercial.

8

Una vez definida el área total según los lotes aptos para la siembra de marañón, haga una proyección de su plan de trabajo e inversión en los próximos diez años.

9

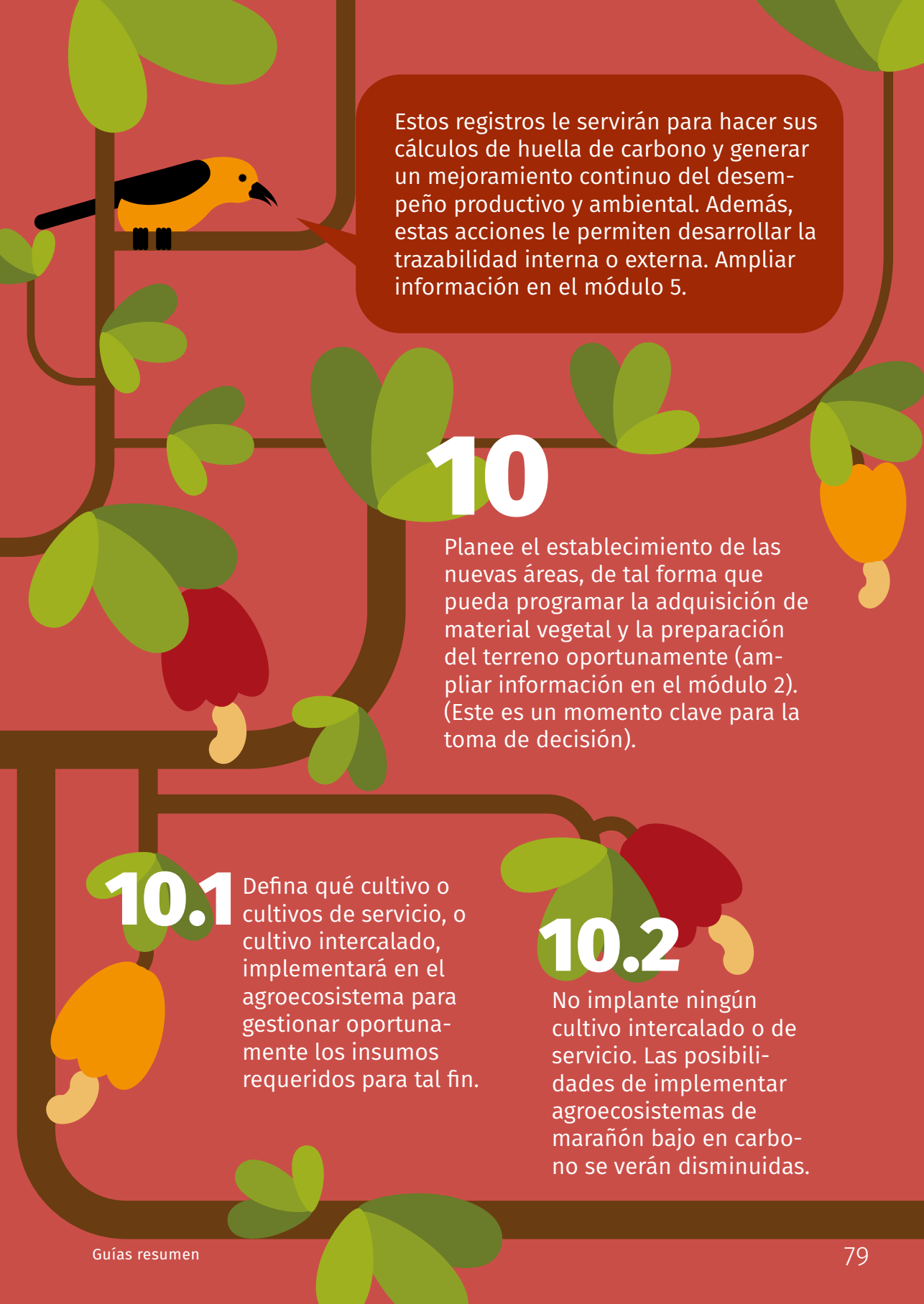
Desarrolle un mecanismo de registro de actividades y costos de la gestión de su agroecosistema de marañón.

9.2

9.1

Tenga en cuenta el flujo de procesos de los agroecosistemas de marañón (figura 5), así como las actividades realizadas para la gestión integral del cultivo.

Utilice hojas de costos para llevar la contabilidad de sus egresos e ingresos en su modelo productivo.



Estos registros le servirán para hacer sus cálculos de huella de carbono y generar un mejoramiento continuo del desempeño productivo y ambiental. Además, estas acciones le permiten desarrollar la trazabilidad interna o externa. Ampliar información en el módulo 5.

10

Planee el establecimiento de las nuevas áreas, de tal forma que pueda programar la adquisición de material vegetal y la preparación del terreno oportunamente (ampliar información en el módulo 2). (Este es un momento clave para la toma de decisión).

10.1 Defina qué cultivo o cultivos de servicio, o cultivo intercalado, implementará en el agroecosistema para gestionar oportunamente los insumos requeridos para tal fin.

10.2 No implante ningún cultivo intercalado o de servicio. Las posibilidades de implementar agroecosistemas de marañón bajo en carbono se verán disminuidas.

Gestión integral del sistema productivo

Gestión de la siembra

Planee, presupueste y ejecute todas las acciones, recomendaciones e insumos requeridos para trasladar a sitio definitivo el material vegetal que será el soporte para el agroecosistema de marañón. Recuerde que estas recomendaciones están especificadas en el módulo 3. La gestión de este proceso determinará en gran medida el desempeño de su sistema productivo.



Gestión de la nutrición

Programe la cantidad, frecuencia, tipo de fuente nutricional y otras estrategias para realizar la gestión integral de nutrientes, considerando las características del suelo, su manejo previo y la variedad empleada. Los cultivos de servicio son claves en la gestión de la nutrición, ya que pueden favorecer el almacenamiento de COS y la provisión de servicios ecosistémicos, incrementando la eficiencia del agroecosistema.



Manejo integrado de plagas y enfermedades (MIPE)

Gestione el componente fitosanitario con una mirada integral, partiendo siempre del monitoreo y buscando la diversificación como estrategia para mantener poblaciones de enemigos naturales y reducir la aplicación de insumos. Esta práctica conducirá a un agroecosistema con mejor desempeño productivo y ambiental.





Manejo de arvenses

Identifique las poblaciones de arvenses “agresivas” y registre las épocas de mayor presencia, con el fin de implementar algunas de las recomendaciones asociadas a esta práctica de gestión. La diversificación del agroecosistema le ayudará en el control natural entre las comunidades presentes.

Manejo de podas

Identifique el tipo de podas a realizar en su cultivo, de acuerdo con la edad de las plantas. Valide oportunamente la disponibilidad de herramientas, mano de obra y cualquier otro insumo requerido para esta práctica. Cómo y cuándo desarrolle estas acciones tendrá un efecto sobre la arquitectura de la planta, su acumulación de biomasa, incidencia en problemas sanitarios y desempeño productivo.



Nota: amplíe esta información en la *Guía conceptual para el establecimiento del marañón en la altillanura plana de la Orinoquia*.

Referencias

- Adjei, V., Anlimachie, M. A., & Ativi, E. E. (2020). Understanding the nexus between climate change, the shift in land use toward cashew production and rural food security in Ghana; the experiences of farmers in the transition zone of Ghana. *Journal of Atmospheric Science Research*, 3(2), 19-27. <https://doi.org/10.30564/jasr.v3i2.2010>
- Agbelade, A. D., & Onyekwelu, J. C. (2020). Tree species diversity, volume yield, biomass and carbon sequestration in urban forests in two Nigerian cities. *Urban Ecosystems*, 23(5), 957-970. <https://doi.org/10.1007/s11252-020-00994-4>
- Agyemang, M., Zhu, Q., & Tian, Y. (2016). Analysis of opportunities for greenhouse emission reduction in the global supply chains of cashew industry in West Africa. *Journal of Cleaner Production*, 115, 149-161. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.12.059>
- Akuriba, M. A., Akudugu, M. A., & Alhassan, A. R. (2021). Agribusiness for economic growth in Africa, practical models for tackling poverty. Palgrave Macmillan. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-88759-9>
- Arango, L. V., Hio, J. C., Guevara, E. J., Navas, A. A. (2016). Corpoica Mapiria Ao1, Corpoica Yopare Ao2, Corpoica Yucao Ao3: clones de marañón para la altillanura plana de la Orinoquía colombiana. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica). https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/11535/81356_67250.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Armenta-Bojórquez, A. D., García-Gutiérrez, C., Camacho-Báez, J. R., Apodaca-Sánchez, M. Á., Gerardo-Montoya, L., & Nava-Pérez, E. (2010). Biofertilizantes en el desarrollo agrícola de México. *Ra Ximhai*, 6(1), 51-56.
- Ashiagbor, G., Asare-Ansah, A. O., Basommi, P., & Adams, W. (2022). Cashew expansion holds potential for carbon stocks enhancement in the forest-savannah transitional zone of Ghana. *Land Use Policy*, 121, 106318. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2022.106318>

- Beecher, J. A. (2010). *Avoided cost: an essential concept for integrated resource planning*. Center for Urban Policy and the Environment, Indiana University.
- Benítez, M. (2012). Evolución del concepto de competitividad. *Ingeniería Industrial. Actualidad y Nuevas Tendencias*, 3(8), 75-82.
- Bondad, J., Harrison, M. T., Whish, J., Sprague, S., & Barry, K. (2023). Integrated crop-disease models: New frontiers in systems thinking. *Farming System*, 1(1), 100004.
- Bouri, M., Arslan, K. S., & Şahin, F. (2023). Climate-smart pest management in sustainable agriculture: promises and challenges. *Sustainability*, 15(5), 4592.
- Cardona, W. A., Martínez, F. E., & Bolaños, M. M. (2021). *Guía de buenas prácticas agrícolas (BPA): normas Global GAP e ICA*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA). <https://doi.org/10.21930/agrosavia.nbook.7404616>
- Cerdá, E. (2012). Energía obtenida a partir de biomasa. *Cuadernos Económicos de ICE*, 83, 117-140.
- Chenu, C., Angers, D. A., Barré, P., Derrien, D., Arrouays, D., & Balesdent, J. (2019). Increasing organic stocks in agricultural soils: Knowledge gaps and potential innovations. *Soil and Tillage Research*, 188, 41-52 <https://doi.org/10.1016/j.still.2018.04.011>
- Coluccia, B., Valente, D., Fusco, G., De Leo, F., & Porrini, D. (2020). Assessing agricultural eco-efficiency in Italian Regions. *Ecological Indicators*, 116. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106483>
- Cordeau, S. (2022). Conservation agriculture and agroecological weed management. *Agronomy*, 12(4), 867.
- Das, T. K., Bhattacharyya, R., Sudhishri, S., Sharma, A. R., Saharawat, Y. S., Bandyopadhyay, K. K., Sepat, S., Bana, R. S., Aggarwal, P., Sharma, R. K., Bhatia, A., Singh, G., Datta, S. P., Kar, A., Singh, B., Singh, P., Pathak, H., Vyas, A. K., & Jat, M. L. (2014). Conservation agriculture in an irrigated cotton - wheat system of the western Indo-Gangetic Plains: Crop and water productivity and economic profitability. *Field Crops Research*, 158, 24-33. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2013.12.017>
- Departamento de Agricultura de los Estados Unidos [USDA]. (2014). *Claves para la taxonomía de suelos* (12ª ed.).

- Dorman, P. (2014). *Microeconomics. A fresh start*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-37434-0>
- Dubey, P. K., Singh, G. S., & Abhilash, P. C. (2020). Adaptive agronomic practices for sustaining food production. En *Adaptive agricultural practices* (pp 11-43). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-15519-3_2
- Dubey, S. K., Singh, R., Sinng, S. P. & Mishra, A. (2020). *A brief study of value chain and supply chain*. Mahima.
- Folke, C., Carpenter, S., Walker, B., Scheffer, M., Elmqvist, T., Gunderson, L., & Holling, C. S. (2004). Regime shifts, resilience, and biodiversity in ecosystem management. *Annual Review of Ecology Evolution and Systematics*, 35, 557-581. <https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.35.021103.105711>
- Galdámez, A. (2004). *Guía técnica del cultivo del marañón*. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). <https://repositorio.iica.int/handle/11324/7364>
- González-Chang, M., Wratten, S. D., Shields, M. W., Costanza, R., Dainese, M., Gurr, G. M., Johnson, J., Karp, D. S., Ketelaar, J. W., Nboyine, J., Pretty, J., Rayl, R., Sandhu, H., Walker, M., & Zhou, W. (2020). Understanding the pathways from biodiversity to agro-ecological outcomes: A new, interactive approach. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 301. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2020.107053>
- GreenFacts. (s. f.). *Régimen de agua*. <https://www.greenfacts.org/es/glosario/pqrs/regimen-agua.htm>
- International Organization for Standardization [ISO]. (2006). ISO 14040. Environmental management - Life cycle assessment - Principles and framework.
- International Organization for Standardization [ISO]. (2015). ISO 14001. Environmental management systems - Requirements with guidance for use.
- Haines-Young, R., & Potschin, M. B. (2018). Common International Classification of Ecosystem Services (CICES) V5.1 and Guidance on the Application of the Revised Structure. www.cices.eu
- Hart, R. D. (1985). *Conceptos básicos sobre agroecosistemas*. IICA/CATIE.
- Hatt, S., Boeraeve, F., Artru, S., Dufrêne, M., & Francis, F. (2018). Spatial diversification of agroecosystems to enhance biological control and other regulating services:

- An agroecological perspective. *Science of the Total Environment*, 621, 600-611. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.11.296>
- Heeb, L., Jenner, E., & Cock, M. J. (2019). Climate-smart pest management: building resilience of farms and landscapes to changing pest threats. *Journal of Pest Science*, 92(3), 951-969.
- Hernández, M. L. (1993). La agroclimatología: instrumento de planificación agrícola. *Geographica*, 30, 213-228. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/59811.pdf>
- Hernández, A., Casas, M., León, M. A., Caballero, R., & Pérez, V. E. (2013). La ciencia económica y el medio ambiente: un aporte desde la valoración económica ambiental. *Revista Paranaense de Desenvolvimento-RPD*, 34(125), 25-38. <https://ipardes.emnuvens.com.br/revistaparanaense/article/view/633>
- Hoekstra, A. Y. (2008). *Water neutral: reducing and offsetting the impacts of water footprints*. Value of Water Research Report Series No. 28. UNESCO-IHE Institute for Water Education. <https://www.waterfootprint.org/resources/Report28-Water-Neutral.pdf>
- Hurni, K., & Fox, J. (2018). The expansion of tree-based boom crops in Mainland Southeast Asia: 2001 to 2014. *Journal of Land Use Science*, 13(1-2), 198-219.
- Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC]. (2018). Anexo I: Glosario. En *Calentamiento global de 1,5 °C, Informe especial del IPCC sobre los impactos del calentamiento global de 1,5 °C con respecto a los niveles preindustriales y las trayectorias correspondientes que deberían seguir las emisiones mundiales de gases de efecto invernadero, en el contexto del reforzamiento de la respuesta mundial a la amenaza del cambio climático, el desarrollo sostenible y los esfuerzos por erradicar la pobreza*.
- Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC]. (2019). *Climate Change and Land: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems*. <https://www.ipcc.ch/srccl/>
- Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC]. (2023). Sections. En *Climate Change 2023: Synthesis Report*. https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/downloads/report/IPCC_AR6_SYR_FullVolume.pdf

- Jaramillo, D. (2002). Introducción a la ciencia del suelo. Universidad Nacional de Colombia. <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/70085/70060838.2002.pdf>
- Kleijn, D., Bommarco, R., Fijen, T. P., Garibaldi, L. A., Potts, S. G., & van der Putten, W. H. (2019). Ecological intensification: bridging the gap between science and practice. *Trends in Ecology and Evolution*, 34(2), 154-166. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2018.11.002>
- Landis, D. A. (2017). Designing agricultural landscapes for biodiversity-based ecosystem services. *Basic and Applied Ecology*, 18, 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.baae.2016.07.005>
- Liu, J., & Taylor, W. (2002). *Integrating landscape ecology into natural resource management*. Cambridge University Press.
- Liu, G., Zhang, F., & Deng, X. (2023). Half of the greenhouse gas emissions from China's food system occur during food production. *Communications Earth and Environment*, 4(1). <https://doi.org/10.1038/s43247-023-00809-2>
- MacLaren, C., Storkey, J., Menegat, A., Metcalfe, H., & Dehnen-Schmutz, K. (2020). An ecological future for weed science to sustain crop production and the environment. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 40, 1-29.
- Magazzino, C., Cerulli, G., Shahzad, U., & Khan, S. (2023). The nexus between agricultural land use, urbanization, and greenhouse gas emissions: Novel implications from different stages of income levels. *Atmospheric Pollution Research*, 14(9), 101846. <https://doi.org/10.1016/j.apr.2023.101846>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Rural [MADR]. (2020). Plan Nacional de Agrologística (Versión para discusión). <https://sioc.minagricultura.gov.co/Documentos-Contexto/S3877-Plan%20Nacional%20de%20Agrolog%C3%ADstica.pdf>
- Odum, E. P. (1969). The strategy of ecosystem development. *Science*, 164, 262-270. <http://dx.doi.org/10.1126/science.164.3877.262>
- Organización de las Naciones Unidas [ONU]. (1992a). Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. <https://www.acnur.org/fileadmin/Documentos/BDL/2009/6907.pdf>
- Organización de las Naciones Unidas [ONU]. (1992b). Convenio sobre la Biodiversidad Biológica. <https://www.cbd.int/doc/legal/cbd-es.pdf>

- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO]. (2009). ¿Por qué invertir en ordenación de las cuencas hidrográficas? <https://www.fao.org/4/a1295s/a1295s01.pdf>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO]. (2016). *Estado mundial del recurso suelo (resumen técnico)*. <http://www.fao.org/3/a-i5126s.pdf>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO]. (2017). *Carbono Orgánico del Suelo: el potencial oculto*. <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/6e5e1fa9-ef55-4198-9160-fa580483f991/content>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO]. (s. f.). *La agricultura climáticamente inteligente*. <https://www.fao.org/climate-smart-agriculture/overview/es/>
- Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico [OCDE]. (1998). *Maintaining prosperity in an ageing society*. <https://doi.org/10.1787/9789264163133-en>
- Osman, K. T. (2013). *Soils: principles, properties and management*. Springer.
- Ou, Y., Roney, C., Alsalam, J., Calvin, K., Creason, J., Edmonds, J., Fawcett, A. A., Kyle, P., Narayan, K., Rourke, P. O., Patel, P., Ragnauth, S., Smith, S. J., & Mcjeon, H. (2021). *Deep mitigation of CO₂ and non-CO₂ greenhouse gases toward 1.5 °C and 2 °C futures*. *Nature Communications*, 12, 1-9. <https://doi.org/10.1038/s41467-021-26509-z>
- Pesticide Action Network [PAN]. (2009). Los pesticidas y el cambio climático: un círculo vicioso. <https://www.panna.org/wp-content/uploads/2023/02/202301ClimateChangeEspFINAL.pdf>
- Peña, A. J., Galindo, Y. P., Peláez, J., Hernández, R., Castaño, Á. M., Gómez, L. F., & Gómez, G. A. (2023). Separata informativa 4. *Boletín Agroclimático del departamento de Vichada (Septiembre)*.
- Porter, M. E. (1985). *Competitive advantage. Creating and sustaining superior performance*. Free Press.
- Rahman, G. K., Rahman, M. M., Alam, M. S., Kamal, M. Z., Mashuk, H. A., Datta, R., & Meena, R. S. (2020). Biochar and organic amendments for sustainable soil carbon and soil health. En R. Datta, R. Swaroop, S. Imran, & M. T. Ceccherini (Eds.), *Carbon and Nitrogen Cycling in Soil* (pp. 45-85). Springer.

- Recasens, J., Royo-Esnal, A., Valencia-Gredilla, F., & Torra, J. (2020). Efficiency, profitability and carbon footprint of different management programs under no-till to control herbicide resistant *Papaver rhoeas*. *Plants*, 9(4), 433.
- Rosenzweig, C., Mbow, C., Barioni, L. G., Benton, T. G., Herrero, M., Krishnapillai, M., Liwenga, E. T., Pradhan, P., Rivera-Ferre, M. G., Sapkota, T., Tubiello, F. N., Xu, Y., Mencos Contreras, E., & Portugal-Pereira, J. (2020). Climate change responses benefit from a global food system approach. *Nature Food*, 1(2), 94-97. <https://doi.org/10.1038/s43016-020-0031-z>
- Sandamurthy, K., & Ramanujam, K. (2020). A hybrid weed optimized coverage path planning technique for autonomous harvesting in cashew orchards. *Information Processing in Agriculture*, 7(1), 152-164. <https://doi.org/10.1016/j.inpa.2019.04.002>
- Schaltegger, S., & Sturm, A. (1990). Ecological rationality: Starting point for the design of ecological oriented management instruments. *The Company*, 4, 273-290.
- Schwab, N., Schickhoff, U., & Fischer, E. (2015). Transition to agroforestry significantly improves soil quality: A case study in the central mid-hills of Nepal. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 205, 57-69. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2015.03.004>
- Silva, M. E., Pereira, S. C. F., & Gold, S. (2018). The response of the Brazilian cashew nut supply chain to natural disasters: A practice-based view. *Journal of Cleaner Production*, 204, 660-671. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.08.340>
- Sui, Y., Gao, J., Liu, C., Zhang, W., Lan, Y., Li, S., Meng, J., Xu, Z., & Tang, L. (2016). Science of the Total Environment Interactive effects of straw-derived biochar and N fertilization on soil C storage and rice productivity in rice paddies of Northeast China. *Science of the Total Environment*, 544, 203-210. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.11.079>
- Torralba, M., Fagerholm, N., Burgess, P. J., Moreno, G., & Plieninger, T. (2016). Do European agroforestry systems enhance biodiversity and ecosystem services? A meta-analysis. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 230, 150-161. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2016.06.002>
- Tubiello, F. N., Rosenzweig, C., Conchedda, G., Karl, K., Gütschow, J., Xueyao, P., Obli-Laryea, G., Wanner, N., Qiu, S. Y., Barros, J. De, Flammini, A., Mencos-Contreras, E., Souza, L., Quadrelli, R., Heioarsdóttir, H. H., Benoit, P., Hayek, M., & Sandalow, D.

- (2021). Greenhouse gas emissions from food systems: Building the evidence base. *Environmental Research Letters*, 16(6). <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ac018e>
- Van Eerd, L. L., Chahal, I., Peng, Y., & Awrey, J. (2022). Influence of cover crops at the four spheres: A review of ecosystem services, potential barriers, and future directions for North America. *Science of The Total Environment*, 858, 159990. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.159990>
- Van Hecken, G., Merlet, P., Lindtner, M., & Bastiaensen, J. (2019). Can financial incentives change farmers' motivations? An agrarian system approach to development pathways at the Nicaraguan agricultural frontier. *Ecological Economics*, 156, 519-529. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2016.12.030>
- Ventrella, D., Stellacci, A. M., Castrignanò, A., & Charfeddine, M. (2016). Effects of crop residue management on winter durum wheat productivity in a long-term experiment in Southern Italy. *European Journal of Agronomy*, 77, 188-198. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2016.02.010>
- World Business Council for Sustainable Development [WBCSD]. (2006). *Ecoefficiency. Creating more value with less impact.*

Agradecimientos

El equipo técnico (AGROSAVIA-WCS) agradece a los productores de marañón, técnicos y representantes de la institucionalidad en el territorio que acompañaron el desarrollo de esta consultoría, así como al equipo de apoyo en campo

(Eldire Tafur, Hugo Gil, Hernán Camacho y Aura Velandia), por su esfuerzo, tiempo, dedicación, disposición e interés en consolidar una cadena de marañón baja en carbono que contribuya a la generación de paisajes sostenibles.

Autores

Carmen Alicia Parrado Moreno

caparrado@agrosavia.co

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-2013-8491>

Ecóloga de la Pontificia Universidad Javeriana, magíster en Gestión y Conservación de Recursos Naturales y doctora en Agroecología de la Universidad Nacional de Colombia. En la actualidad es investigadora PhD en la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), donde se dedica desde 2021 al análisis ambiental y de sostenibilidad en sistemas agrícolas. Su trabajo se enfoca en la generación y aplicación de herramientas e indicadores que permitan determinar las relaciones entre el desempeño ambiental y productivo para la transformación e innovación orientada a la sostenibilidad. Ha publicado artículos científicos en revistas indexadas en temas relacionados con el análisis ambiental e indicadores de sostenibilidad en sistemas agroindustriales.

Diana Mayerly Mateus Cagua

dmateus@agrosavia.co

Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-7876-5343>

Ingeniera agrónoma y magíster en Ciencias Agrarias en la línea de investigación en Fisiología de Cultivos de la Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá. Tiene experiencia en la formulación y ejecución de proyectos de investigación en frutales. Sus áreas de trabajo incluyen evaluación de alternativas para la gestión integrada de sistemas productivos, efecto de factores bióticos y abióticos sobre la fisiología de las plantas y ecofisiología de cultivos. Actualmente es investigadora del Centro de Investigación La Libertad de AGROSAVIA.

Diana Elisa Correa Pinilla

dcorrea@agrosavia.co

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-2334-3941>

Ecóloga de la Pontificia Universidad Javeriana, especialista en Sistemas de Información Geográfica de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas y magíster en Science Geographical Information Science & Systems-MSc (GISc) de la Universität Salzburg (Austria). Actualmente se desempeña como profesional de apoyo a la investigación AGROSAVIA. Ha participado en proyectos de investigación relacionados con los sistemas productivos de marañón, cacao, caucho y forestales, en las áreas de sistemas de información geográfica y modelamiento espacial, sensoramiento remoto, caracterización y tipificación de sistemas de producción y valoración de servicios ecosistémicos.

Andrés Javier Peña Quiñones

apena@agrosavia.co

Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-3564-401X>

Ingeniero agrónomo y magíster en Meteorología de la Universidad Nacional de Colombia, y doctor en Ingeniería Agrícola y Biológica de la Universidad del Estado de Washington. En la actualidad es investigador PhD asociado en AGROSAVIA, donde se dedica desde 2020 al estudio de la climatología y agroclimatología de zonas ecuatoriales. Su trabajo se enfoca en el desarrollo de herramientas para apoyar la toma de decisión con base en el análisis de riesgo. Ha publicado artículos científicos en revistas indexadas sobre temas relacionados con climatología, meteorología agrícola y micrometeorología.

Jaime Humberto Bernal Riobo

jhbernal@agrosavia.co

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-8738-1365>

Ingeniero agrónomo de la Universidad Nacional de Colombia sede Palmira, magíster en Agronomía con énfasis en Nutrición de Plantas de la Universidad de Nebraska-Lincoln y doctor en Ciencias Agrarias con énfasis en Ecofisiología Vegetal de la Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá. Fue presidente de la Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo (2011-2013, 2017-2020), dirige el grupo Agricultura de Conservación para Suelos de Trópico Bajo y es investigador asociado de Minciencias. En la actualidad es investigador PhD de AGROSAVIA, donde se dedica desde 1994 al estudio de la ecofisiología de cultivos y la nutrición de plantas en zonas ecuatoriales. Su trabajo se enfoca en el desarrollo de estrategias para la gestión in-

tegral en suelos ácidos, fertilidad y nutrición de plantas, modelamiento de cultivos, agricultura de conservación, servicios ecosistémicos, estrategias de gestión de sistemas de producción sostenible de cultivos para la Orinoquia y en la integración de herramientas en agricultura de precisión para una gestión eficiente de los sistemas de producción con menor impacto ambiental.

Sandra Xiomara Pulido Castro

spulido@agrosavia.co

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-5792-7136>

Ingeniera agrónoma y magíster en Sistemas de Producción Agrícola. Posee amplia experiencia en la planificación, diseño e implementación de proyectos de transferencia de tecnología agropecuaria, gestión de conocimiento y de apropiación social del conocimiento; en procesos de capacitación; formulación y ejecución de proyectos de desarrollo tecnológico, organización comunitaria y procesos pedagógicos/educativos. Ha liderado y participado en procesos de coordinación en programas que soportan la asistencia y servicios de extensión agrícola, así como en el fortalecimiento de la relación entre productores, investigadores y proveedores de servicios en extensión agrícola en procura de la innovación agropecuaria. Actualmente es asesora sénior de la Sede Central de AGROSAVIA.

Laura Victoria Arango Wiesner

Ingeniera Agrónoma con maestría en Fruticultura de la Universidade Federal de Lavras. Trabajó por más de 30 años como investigadora en AGROSAVIA, en las áreas de agronomía, fitomejoramiento y poscosecha de frutas tropicales. Participó activamente en la consolidación de la cadena de valor de marañón en la Orinoquia y el Caribe colombiano. Sus actividades en mejoramiento genético y agronomía en marañón dieron como resultado la selección y el registro de los tres clones que la corporación entregó al sector agropecuario en el año 2016 y que están a disposición del público. Actualmente es consultora experta en este sistema productivo.



El sector agrícola y el cambio de uso del suelo aportan cerca de la cuarta parte de las emisiones globales de gases efecto invernadero (GEI). Las emisiones asociadas a la agricultura están relacionadas principalmente con sus prácticas de manejo. De acuerdo con esto, la agricultura tiene también el potencial de ser sumidero de GEI mediante la implementación de estrategias de innovación y uso de tecnologías eficientes para avanzar en programas de mitigación, adaptación y conservación de los recursos. Esta publicación tiene como propósito presentar un conjunto de mejores prácticas que conduzcan a consolidar agroecosistemas de marañón bajos en carbono, así como las ventajas de implementarlas, considerando el potencial que tiene este sistema para la fijación y el almacenamiento de carbono. De esta forma, los actores de la cadena de marañón tendrán mayores herramientas para la toma de decisiones informadas, a la vez que contribuyen a la reducción y mitigación de GEI en el país.