COLOMBIA POTENCIA DE LA VIDA

Gobierno del Cambio

Guía de implementación de mejores prácticas para un modelo de arroz bajo en carbono

Programa paisajes sostenibles en la Orinoquia

Biocarbono
Paisajes sostenibles bajos en carbono

AGROSAVIA

GRUPO BANCO MUNDIAL

Embajada de la República Federal de Alemania Bogotá

EMBAJADA de ESTADOS UNIDOS BOGOTÁ

UK Government

NICFI
Norway's International Climate and Forest Initiative

Entidades Socias

Agricultura

Ambiente

IDEAM 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 (ISFL) del Fondo Biocarbono del Banco Mundial

BioCarbon Fund
Initiative for Sustainable Forest Landscapes

Guía de implementación de mejores prácticas para un modelo de arroz bajo en carbono.

Gustavo Francisco Petro Urrego
Presidente de la República de Colombia

Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR)

Jhenifer Mojica Flórez (2023)
Cecilia López Montaño (08/2022 - 04/2023)
Rodolfo Enrique Zea (02/2020 – 08/2022)
Ministros de Agricultura y Desarrollo Rural

Darío Fajardo Montaña,
Viceministro de Desarrollo Rural

Luis Alberto Villegas Prado (09/2022-05/2023)
Juan Gonzalo Botero (06/2020 – 09/2022)
Viceministro de Asuntos Agropecuarios

Edison Hernán Suarez Ortiz (05/2023)
María del Pilar Ruiz Molina (11/2022-03/2023)
Director@ de Innovación, Desarrollo Tecnológico y Protección Sanitaria

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible

Susana Muhamad
Ministro de Ambiente y Desarrollo Sostenible

Sandra Vilardy
Viceministra de Políticas y Normalización Ambiental

Francisco Javier Canal
Viceministro de Ordenamiento Ambiental del Territorio, respectivamente.

Proyecto Biocarbono Orinoquia Paisajes Sostenibles Bajos en Carbono

Iván Darío Gómez Guzmán
Coordinador Nacional del Proyecto

Fabián Mauricio Gerena Reina
Líder componente Planeación Integrada del Uso del Suelo y Gobernanza para el Control a la Deforestación

Fernando Leyva Pinzón
Líder componente Uso y Manejo Sostenible del Suelo

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

Javier Rodríguez Dueñas
Coordinador Regional

Lilia Patricia Arias Duarte
Gestor Sénior Seguimiento y Monitoreo

Pedro Miguel Salazar
Susana Sandoval González
Sabrina Acosta
Mónica Monsalvo Torres
Especialistas

Gandy Alarcón Montero
Fabián Peña
Janny Trujillo Moya
Juliana Fonseca
Asesores

AGROSAVIA – Corporación colombiana de investigación agropecuaria

Andrés Javier Peña, PhD
Camilo Andrés Garzón, PhD
Carmen Alicia Parrado, PhD
Jaime Bernal Riobo, PhD
Johan Manuel Redondo, PhD
Ruby Stella Hernández, MSc

Contenido

Introducción 15

Presentación 16

¿Cuáles son las acciones en mejores prácticas para la gestión del modelo de arroz bajo en carbono? 17

1. Gestión de información climática para el manejo en agroecosistemas de arroz bajo en carbono 17

2. Gestión integral de suelos en agroecosistemas de arroz bajo en carbono 19

2.1 El análisis de suelos en agroecosistemas de arroz bajos en carbono 20

3. Gestión integral de nutrientes y acondicionadores de suelos en agroecosistemas de arroz bajo en carbono 22

3.1 Gestión de los residuos de cosecha, tamo o soca en agroecosistemas de arroz bajo en carbono 23

4. Gestión integral de malezas en agroecosistemas de arroz bajo en carbono .. 25

5. Gestión integral de plagas (GIP) en modelo de arroz bajo en carbono 27

6. Gestión integral del agua en agroecosistemas de arroz bajo en carbono 29

6.1 Indicadores ambientales para la gestión en agroecosistemas de arroz bajo en carbono: huella hídrica 31

7. Planificación predial y productiva en agroecosistemas de arroz bajo en carbono 33

8. Gestión integral sitio-específica en agroecosistemas de arroz bajo en carbono 35

9. Ecoeficiencia en la gestión de agroecosistemas de arroz bajos en carbono... 37

9.1 Indicadores ambientales para la gestión de agroecosistemas de arroz bajos en carbono: huella de carbono 39

10. Acciones para la gestión e intensificación ecológica (IE) en los paisajes con matriz arrocera bajos en carbono 41

Referencias 44

Glosario

Adaptación: En los sistemas humanos, el proceso de ajuste al clima real o proyectado y sus efectos, a fin de moderar los danos o aprovechar las oportunidades beneficiosas. En los sistemas naturales, el proceso de ajuste al clima real y sus efectos; la intervención humana puede facilitar el ajuste al clima proyectado y sus efectos (IPCC, 2018).

Agricultura climáticamente inteligente: La agricultura climáticamente inteligente 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. Este enfoque 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 (FAO, 2018).

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).

Bienestar: Estado de vida en el que se satisfacen diversas necesidades humanas, incluidas las condiciones materiales de vida y la calidad de vida, así como la capacidad de conseguir los objetivos propios, prosperar y sentirse satisfecho con la vida propia. El bienestar de los ecosistemas hace referencia a la capacidad de los ecosistemas para mantener su diversidad y calidad (IPCC, 2018).

Biocarbón: El 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. Como resultado, se puede diferenciar 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 mejorar las actividades microbianas del suelo para mejorar la salud del suelo en comparación con otras enmiendas (Rahman *et al*., 2020).

Biodiversidad: Se define como la 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) (CDB, 1992).

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

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 continua la actual tendencia de calentamiento multidecenal (IPCC, 2018).
Cambio climático: El cambio climático es el cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmosfera global y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante periodos de tiempo comparables (CMNUCC, 2013).
Carbono orgánico del suelo (COS): El COS suelo (COS) es una 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 1500 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 la fauna del mismo, 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, dióxido de carbono (CO2), 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, como una descripción estadística 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).

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: Se denomina cultivo de servicios a aquellas 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: El CO_2, que es un gas de origen natural, 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 al equilibrio radiativo 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: Es una herramienta de gestión cuantitativa para analizar la relación entre los aspectos económicos y ambientales de una actividad. La ecoeficiencia 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” (WBCSD, 2006).

Emisión de CO_2 equivalente (CO_2 eq): Cantidad de emisión de dióxido de carbono (CO2) que causaría el mismo forzamiento radiativo integrado o cambio de temperatura, en un plazo dado, que cierta cantidad emitida de un gas de efecto invernadero (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 CO_2 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).

Entisols: Los entisoles se definen como suelos que tienen 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. Estos suelos están distribuidos en una amplia área geográfica y se pueden encontrar en cualquier clima y bajo cualquier vegetación. Los entisoles a lo largo de las llanuras aluviales de los ríos a menudo se cultivan de forma intensiva y son algunos de los suelos más productivos para la agricultura del mundo. La mayoría de los Entisoles se utilizan para pastos, pastizales y bosques. Los entisoles ocupan alrededor del 16% de la superficie mundial. Los entisoles tienen cuatro subórdenes**:** *Aquents, Arents, Fluvents y Psamments* (Osman, 2013).

Estructura del suelo: La estructura del suelo es la 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: 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 atmosfera 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 atmosfera terrestre. Asimismo, la atmosfera contiene cierto número de gases de efecto invernadero enteramente antropógeno, como los halocarbonos u otras sustancias que contienen cloro y bromo, y 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 (SF6), 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. Las acciones de gobernanza 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).
Humedad del suelo: Agua almacenada en el suelo en forma líquida o congelada. La humedad del suelo 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).
Inceptisols: Suelos que exhiben solo el comienzo del desarrollo del perfil, débilmente desarrollados ya que tienen mínima diferenciación de horizontes. Están más desarrollados que los Entisoles y carecen de muchas características de los suelos maduros. Los inceptisoles 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. Los inceptisoles 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. Los inceptisoles 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. Los inceptisoles tienen seis subórdenes: *Anthrepts, Aquepts, Cryepts, Udepts, Ustepts y Xerepts* (Osman, 2013).
Intensidad de carbono: Cantidad de emisiones de dióxido de carbono (CO_2) liberado por unidad de otra variable, como el producto interno bruto (PIB), el uso de energía final, el transporte (IPCC, 2018) o unidad funcional.
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 procesos ecológicos hacia la prestación de múltiples servicios ecosistémicos en agroecosistemas (Hatt *et al*., 2018).

Materia orgánica del suelo (MOS): La materia orgánica del suelo es una mezcla heterogénea de diversos materiales orgánicos en diversas etapas de descomposición. La MOS es un componente esencial del suelo y afecta el estado y el funcionamiento de otros componentes del suelo. La mayoría de los suelos minerales contienen <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 y son: 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 y 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. La estructura y el origen de los materiales pueden o no estar identificados. Consiste en detritos en descomposición gradual y tejidos vegetales y animales parcialmente descompuestos (comprende alrededor del 10-40% de la MOS). Junto con el componente anterior constituyen la “materia orgánica activa del suelo”, se denomina de esta forma porque puede ser atacada por los organismos para utilizarla como alimento y energía. Finalmente, la materia orgánica completamente descompuesta o humus. La descomposición completa de la materia orgánica 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 hasta tal punto que la descomposición posterior es muy lenta. El humus está compuesto por complejos orgánicos naturales estables formados por los productos de la descomposición biológica y la resíntesis. El humus contiene sustancias refractarias como la lignina y los polifenoles. Debido a estas sustancias refractarias, el humus se denomina materia orgánica pasiva del suelo. Comprende alrededor del 40-60% del total de la MOS (Osman, 2013).

Metano (CH_4): Uno de los gases de efecto invernadero (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: La mineralización es el 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 convierten a formas inorgánicas simples. Por ejemplo, N, P y S combinados orgánicamente aparecen como iones NH_4^+, $H_2PO_4^-$ y SO_4^{2-}, y una cantidad considerable de 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. Esta 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).

Opción de mitigación: Tecnología o practica que reduce las emisiones de gases de efecto invernadero o mejora los sumideros (IPCC, 2018).

Opciones de adaptación: Conjunto de estrategias y medidas disponibles y adecuadas para hacer frente a las necesidades de adaptación. Incluyen una amplia gama de medidas que se pueden clasificar como estructurales, institucionales, ecológicas o de comportamiento (IPCC, 2018).

Óxido nitroso (N_2O): Gas de efecto invernadero (GEI) que se debe reducir en el marco del Protocolo de Kyoto. La fuente antropógeno 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).

Oxisols: Los oxisoles son suelos tropicales altamente meteorizados con enriquecimiento de caolinita y óxidos de Fe, Al y 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 perúdicos. Usualmente, los oxisoles se desarrollan bajo condiciones climáticas donde la precipitación excede la evapotranspiración por algunos períodos 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. Los oxisoles son suelos degradados 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 Oxisoles son extremadamente infértiles, algunos oxisoles pueden volverse productivos cuando

se cultivan con el manejo adecuado. Los oxisoles tienen cinco subórdenes**:** *Aquox, Perox, Torrox, Udox y Ustox* (Osman, 2013).

Paisaje: Un paisaje es un área de tierra heterogénea que a menudo está estructurada jerárquicamente. La unidad básica de un paisaje es un parche, que es 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 diferente, 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. Esto 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).

Patrón monomodal: Un patrón monomodal se define por presentar un sólo pico de lluvia, esto quiere decir, sin alternancia de meses húmedos y secos dentro de la temporada húmeda (Herrmann & Mohr, 2011).

pH: Unidad adimensional que mide el grado de acidez de una solución, manifestado en la concentración de iones de hidrogeno [H^+] en ella. El pH se mide con arreglo a una escala logarítmica en virtud de la cual pH = –log10[H+]. Así, cuando el pH disminuye en una unidad, la concentración de H+, es decir, la acidez, se multiplica por 10 (IPCC, 2018).

Proveedores de servicios ecosistémicos: 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: El régimen hídrico de un ecosistema de agua dulce es el patrón predominante de flujo de agua 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, 2022).

Resiliencia: Es la 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, el termino riesgo suele utilizarse 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), así como el peligro (relacionado con el clima) y la probabilidad de que ocurra (IPCC, 2018).
(Kleijn *et al*., 2019).

Rotación de cultivos: Se denomina a la 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: Los servicios ecosistémicos se definen como las contribuciones que los ecosistemas hacen al bienestar humano, y se diferencian de los bienes y beneficios que las personas obtienen posteriormente de ellos. Estas contribuciones se enmarcan en términos de “lo que hacen los ecosistemas” por las personas. Por lo tanto, la definición de cada servicio 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).

Terraza (Banqueta): Fragmentos de antiguas llanuras aluviales no inundadas porque en la actualidad, se encuentran en niveles más alto que las actuales llanuras aluviales. Las terrazas generalmente se ubican lejos del río, detrás de las llanuras aluviales, elevándose desde el nivel de la llanura aluvial. La elevación (también llamada escarpa) junto con la parte superior plana (denominada huella) constituyen la terraza. Las terrazas se forman cuando un río desciende, bajando su lecho a un nivel desde el cual la antigua llanura aluvial no puede inundarse. La

antigua llanura aluvial se disecciona y sobreviven fragmentos como una terraza; una nueva llanura aluvial se deposita debajo y encima del lecho del río (Gupta, 2011).

Textura del suelo: La proporción relativa partículas de diferente tamaño en el suelo: primarias y secundarias. Las partículas primarias incluyen arena, limo y arcilla, clasificadas según su diámetro efectivo en un suelo. Esta una propiedad fundamental del suelo que no se altera fácilmente y determina la facilidad con que se puede trabajar el suelo, 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).

Unidad funcional: desempeño cuantificado de un sistema del producto para su uso como unidad de referencia (ISO 14040, 2006).

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. La vulnerabilidad comprende una variedad de conceptos que incluyen la sensibilidad o susceptibilidad al daño y la falta de capacidad de respuesta y adaptación (IPCC, 2018.

Acrónimos

CMNUCC: Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático
GEI: Gases de Efecto Invernadero
IPCC: Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático
ODS: Objetivos de Desarrollo Sostenible

Introducción

Productora y productor de arroz, esta guía de mejores prácticas para un modelo de arroz bajo en carbono en paisajes sostenibles de la Orinoquía hace parte de los resultados de la ejecución del Contrato No. 016-2021 de la consultoría que tuvo como objetivo**:** caracterizar, validar y socializar modelos productivos sostenibles bajos en carbono para el cultivo de arroz en los municipios de Arauca (Arauca), Paz de Ariporo (Casanare), Villavicencio, Puerto López y Puerto Gaitán (Meta), en la Orinoquia colombiana y que hace parte integral del proyecto "Desarrollo Sostenible Bajo en Carbono en la Orinoquia - Proyecto Biocarbono Orinoquia - Banco Mundial – Convenio de Donación TF-A6377. El objetivo de la guía es hacer disponible un conjunto de mejores prácticas y su paso a paso para la implementación en agroecosistemas y el avance del modelo de arroz bajo en carbono en la Orinoquía.

Por medio de la implementación e integración de las prácticas que encontrará en esta publicación usted se convertirá en un gestor del modelo de arroz bajo en carbono en su predio y contribuirá al desarrollo de paisajes sostenibles en la Orinoquía. Es importante que considere que hay evidencias que las mejores prácticas agrícolas en la producción de arroz reducen las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), incrementan el carbono orgánico del suelo (COS), conservan la biodiversidad, regulan el uso del agua, y proveen otros servicios ecosistémicos (por ejemplo, ciclaje de nutrientes, fertilidad del suelo y hábitat para especies acuáticas, entre otros). La incorporación sistemática y planeada de diferentes prácticas en sus rutinas productivas en agroecosistemas arroceros hará que su gestión sea más eficiente y mantenga o incremente su rendimiento con menos insumos y menor impacto en el ambiente. Entre las prácticas efectivas para la reducción directa de emisiones se consideran, el manejo apropiado de los suelos y el agua en el ciclo productivo, el uso eficiente de fertilizantes nitrogenados y la incorporación del tamo o soca en el suelo en el momento adecuado. Adicionalmente, el uso de enmiendas orgánicas como biocarbón y compost o la implementación de cultivos de servicios (rotación o cobertura) y la preparación o labranza mínima de los suelos incrementa el almacenamiento del carbono y disminuye los procesos de reemisión de GEI desde el suelo.

Esta guía le llevará en el paso a paso de la integración de prácticas que componen el modelo de arroz bajo en carbono, en donde, además, de contribuir a la mitigación del cambio climático y otros impactos ambientales, iniciará el recorrido por la ruta de la ecoeficiencia para lograr un sistema productivo sostenible y con la posibilidad de múltiples ganancias financieras y no financieras, partiendo de una rebaja en los costos de producción de alrededor del 33%.

Presentación

El presente documento titulado “Guía de implementación de mejores prácticas para un modelo de arroz bajo en carbono” tiene como objetivo la consultoría de Agrosavia caracterizar, validar y socializar los modelos productivos sostenibles bajos en carbono para el cultivo de arroz en los municipios de Arauca (Arauca), Paz de Ariporo (Casanare), Villavicencio, Puerto López y Puerto Gaitán (Meta), en la Orinoquia colombiana.

El Proyecto Biocarbono busca identificar y desarrollar alternativas que permitan contribuir con la mejora de las condiciones para la planificación y producción agropecuaria sostenible, con el fin de garantizar la disminución en las emisiones de gases de efecto invernadero. Esta es una iniciativa liderada por el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, a través del convenio entre el Gobierno Nacional y el Banco Mundial, y es financiado por las embajadas de Reino Unido, Estados Unidos, Reino de Noruega y Alemania.

Con esta guía se busca presentar una herramienta de implementación e integración de mejores prácticas pata el avance de modelos de arroz bajos en carbono en la Orinoquia.

Finalizó dando mis agradecimientos a todas las personas e instituciones por los múltiples esfuerzos para potencializar un desarrollo sostenible bajo en carbono.

Iván Darío Gómez
Coordinador Nacional Proyecto Biocarbono

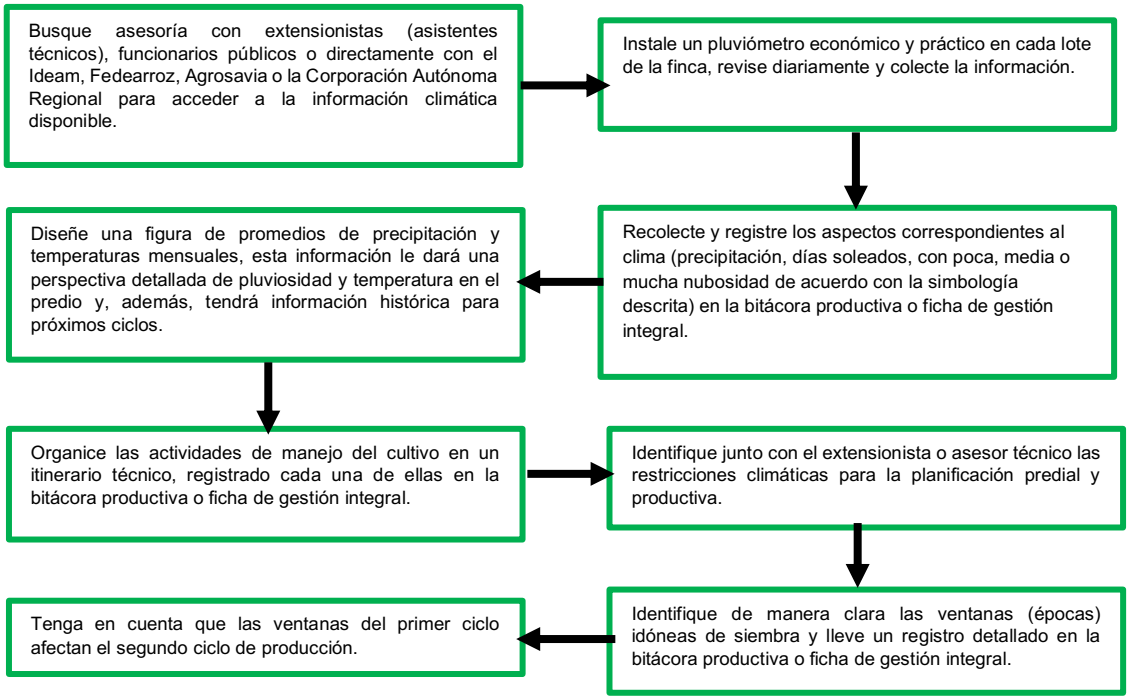
¿Cuáles son las acciones en mejores prácticas para la gestión del modelo de arroz bajo en carbono?

1. Gestión de información climática para el manejo en agroecosistemas de arroz bajo en carbono

Las variables climáticas, principalmente la temperatura del aire, la radiación solar y la precipitación, determinan el crecimiento y el desarrollo del cultivo del arroz. La radiación solar se traduce en la cantidad de energía que la planta utiliza para su crecimiento (rendimiento en grano), la temperatura del aire define la velocidad de crecimiento y desarrollo de las plantas, mientras que la precipitación condiciona la capacidad de acumulación de biomasa, principalmente en sistemas de arroz secano. Sin embargo, es necesario considerar que en cultivos de ciclo corto (caso arroz) las variaciones semanales y diarias de los elementos del clima en estados fenológicos críticos impactan el potencial productivo. La oferta climática tiene una dinámica temporal (en el tiempo) y espacial (de lugar) que se rige por el cambio de la posición aparente del sol y otros factores asociados a esa variación. Por ejemplo, en la Orinoquía, aunque, en promedio, se presenta una temporada lluviosa y una temporada seca bien definidas (patrón monomodal de lluvias) a

través del año, se deben tener en cuenta las particularidades a escala local la cual incluye el municipio, la vereda y la finca, que tienen efecto sobre el sistema productivo de arroz. Lo anterior quiere decir que, a pesar de la existencia de patrones espaciales y temporales es posible tener eventos secos en épocas húmedas o zonas con alta precipitación en medio de otras con lluvia escasa.

Para realizar la Gestión de información climática se deben seguir los siguientes pasos:
¡Este diagrama le presenta el paso a paso!



Entender la oferta climática cambiante permite gestionar el riego del sistema productivo y mantener la competitividad

2. Gestión integral de suelos en agroecosistemas de arroz bajo en carbono

La conservación de suelos arroceros en la Orinoquía debe estar asociada a las características determinantes de los factores y procesos de formación de estos; es decir, con su génesis. En la práctica, el conocimiento de los procesos que le han dado al suelo sus características y propiedades permitirá definir con alta certidumbre el manejo más apropiado. Así mismo, la conservación de los suelos también depende de las prácticas de manejo que tradicionalmente se han desarrollado en estos sistemas agrícolas y el incremento de prácticas a través cultivos de servicios, como la rotación o los cultivos de cobertura. Los sistemas productivos de arroz se encuentran localizados en el piedemonte llanero en los municipios de Villavicencio y Puerto López, en la altiplanicie (altillanura plana) del municipio de Puerto Gaitán y en la planicie aluvial de inundación en los municipios de Arauca y Paz de Ariporo. De acuerdo con la clasificación taxonómica de estos suelos, que define el grado de semejanza o similitud de los suelos ubicados en diferentes posiciones del paisaje, en donde se encuentra el cultivo de arroz predominan los suelos de los órdenes Inceptisol y Entisol y una menor proporción de suelos del orden Oxisol en el municipio de Puerto Gaitán. Estos son suelos de origen sedimentario naturalmente adensados (con baja infiltración) que con el laboreo en épocas no adecuadas (suelos secos) y el uso de implementos de discos ocasionan daños en su estructura, y compactación entre los 10 a 15 cm de profundidad que impide que la planta de arroz profundice sus raíces. Desde el punto de vista químico son suelos de baja fertilidad con pH desde fuertemente ácidos (5.5) a muy fuertemente ácidos (4.6), que limitan la disponibilidad de los nutrientes esenciales para el crecimiento óptimo de la planta. En tanto que, la Orinoquia inundable en Arauca y Casanare, se caracteriza por sus planicies aluviales con suelos jóvenes (Inceptisoles) con texturas franca a francolimosa y eólicas con suelos muy poco evolucionados (Entisoles) y altos contenidos de arena. Estos suelos se caracterizan por permanecer inundados (en las zonas depresionales) y/o saturados de agua durante un período cercano a los 7 meses, mientras que en las zonas conocidas como las banquetas (terrazas) la humedad del suelo puede pasar de húmedo a seco durante la temporada de lluvias (Malagón, 2003).

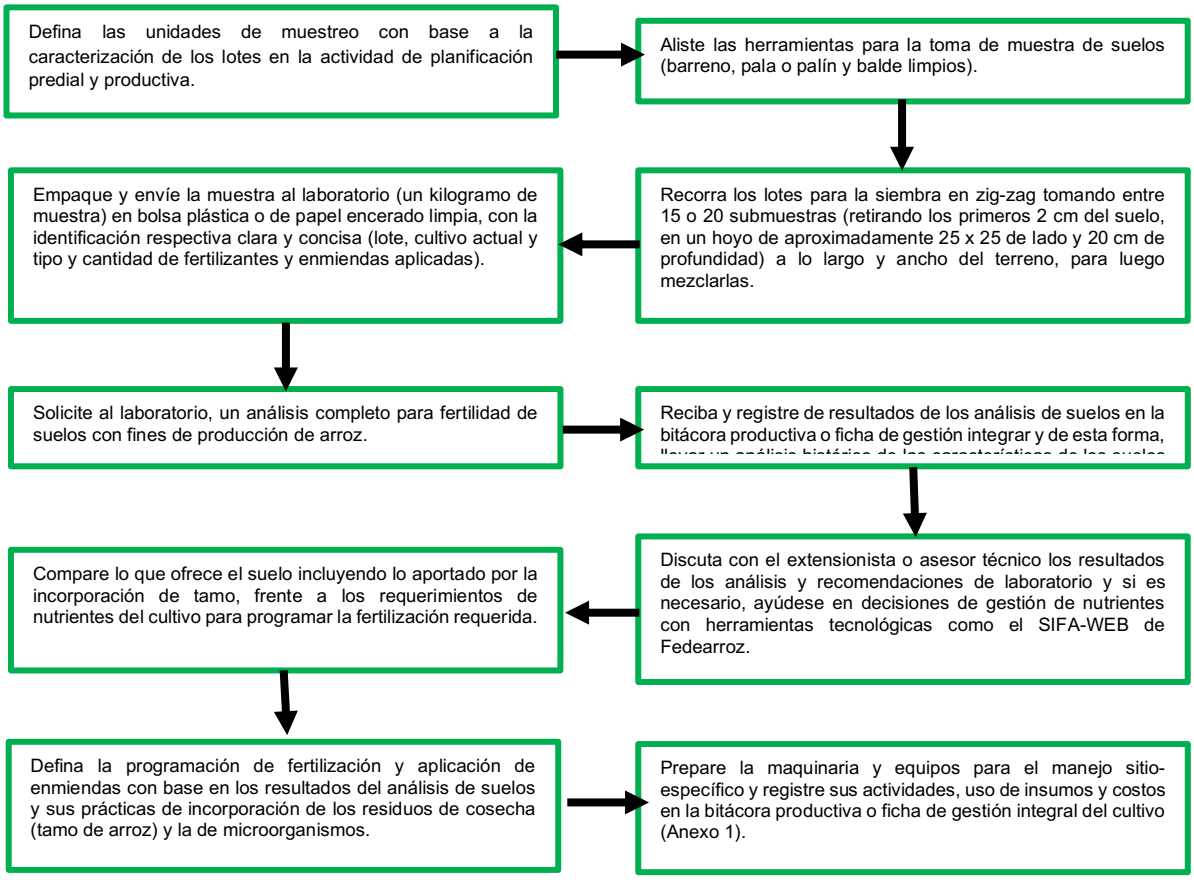
Lo descrito con anterioridad permite reconocer las principales características de los suelos arroceros de los municipios Arauca, Paz de Ariporo, Puerto Gaitán,

Puerto López y Villavicencio, las cuales determinan su gestión apropiada a partir de la planificación productiva y predial para disminuir los efectos negativos de las prácticas agrícolas.

2.1 El análisis de suelos en agroecosistemas de arroz bajos en carbono

El suelo es la principal fuente de nutrientes y soporte en el crecimiento de las plantas de arroz, por lo cual, el mantenimiento de su calidad o la aplicación de prácticas para mejorar sus propiedades es clave en el sostenimiento de la productividad. El análisis preciso y oportuno de las características físicas, químicas y biológicas de los suelos arroceros se hace necesario para evaluar su capacidad de suministrar nutrientes. De esta manera, es posible reponer las cantidades adicionales de nutrientes para el crecimiento óptimo de los cultivos. Así como también la aplicación de enmiendas, en las dosis, formas y momentos oportunos para disminuir las pérdidas de elementos mineralizados y las emisiones de gases de efecto invernadero, por ejemplo, por no incorporación del tamo del arroz. Además, los análisis de suelos permiten gestionar y mitigar los impactos ambientales al reducir las fuentes de contaminación de la agricultura.

¿Cuáles son los pasos a seguir para hacer un análisis de suelos y gestionar de manera integral los suelos de los sistemas productivos de arroz? ¡Este es el paso a paso!



La conservación y gestión integral de suelos constituye la base de la seguridad alimentaria y la eficiencia en el ciclaje de nutrientes

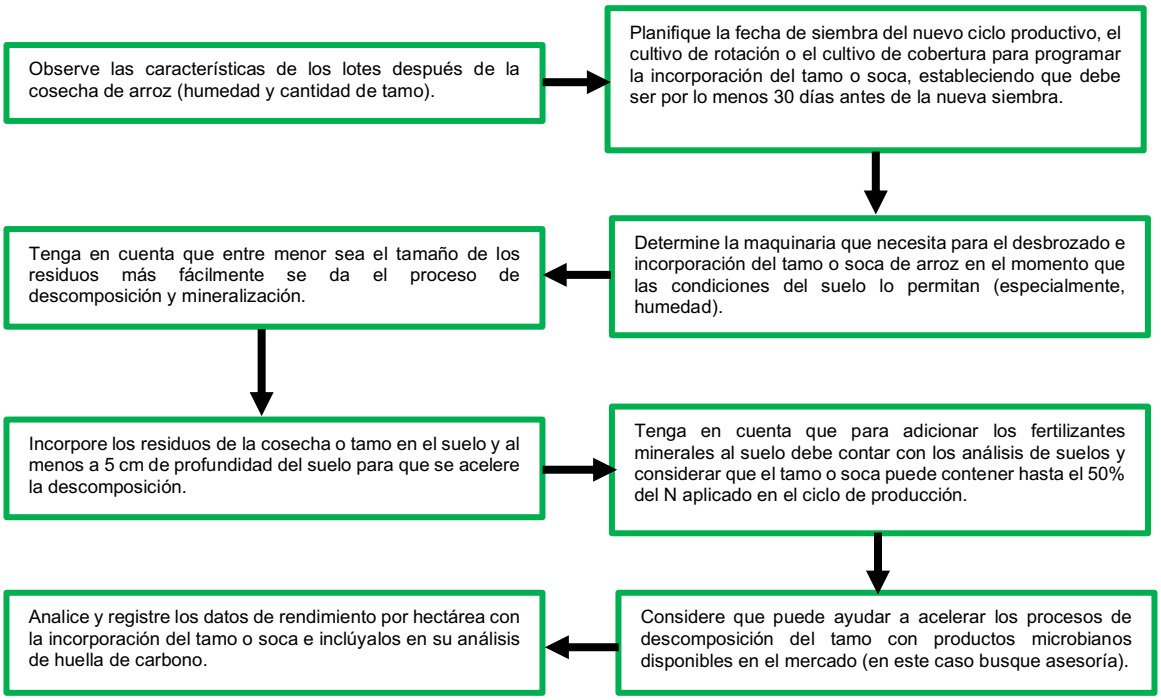
3. Gestión integral de nutrientes y acondicionadores de suelos en agroecosistemas de arroz bajo en carbono

La eficiencia en el uso de fertilizantes no sólo está relacionada con la aplicación de dosis adecuadas, sino también la disposición apropiada y en el momento oportuno. La dosis adecuada no debe ser un criterio netamente financiero, relacionado con la inversión que se hace en la adquisición de fertilizantes *versus* el incremento en los rendimientos, sino que debe estar relacionado con la eficiencia y la reducción de emisiones de GEI, por esta razón, es muy importante el análisis de suelos y contar con asesoría especializada. El momento oportuno está asociado con disponer los elementos necesarios y sus formas de aplicación en función de la fenología del cultivo, es decir, el estado en el que se encuentra la planta, como, por ejemplo, germinación, plántula, macollamiento, primordio final o floración en relación con las condiciones climáticas de la zona (cuando más lo necesita). Sin embargo, en condiciones de secano, principal forma de cultivar arroz en la Orinoquía, el momento oportuno de fertilización puede coincidir con épocas secas o extremadamente lluviosas que generan pérdidas por volatilización y lixiviación. De esta forma, las variables climáticas (lluvia, temperatura y humedad), así como el manejo de cultivos de servicios, deben ser considerados como un criterio para la determinación de la eficiencia del uso de fertilizantes. Estos criterios relacionan la disponibilidad de nutrientes por el cultivo anterior o los cultivos de servicios incorporados, la cantidad de fertilizante introducido en el suelo y el utilizado por las plantas de arroz. En resumen, la gestión integral de nutrientes debe tener en cuenta las dosis, formas y tiempos de aplicación de los fertilizantes, así como las características fisiológicas y genéticas de las plantas, el momento del día para la aplicación (temperatura y humedad de suelos y aire), y de esta forma, incrementar la sincronización entre la demanda y la disponibilidad para la reducción de pérdidas.

3.1 Gestión de los residuos de cosecha, tamo o soca en agroecosistemas de arroz bajo en carbono

La incorporación del tamo o soca tiene efectos en la disminución del uso de fertilizantes minerales y juega un papel importante en el ciclaje de nutrientes. Sin embargo, es necesario evaluar las prácticas y momentos de incorporación en las diferentes zonas ya que los resultados pueden ser diversos. El tamo o soca sin incorporar puede mediar en las emisiones de N2O de múltiples maneras. La retención de residuo en la superficie modera la mineralización microbiana del N (Nitrógeno), la nitrificación y el sustrato de C e incrementar la producción de N2O. Adicionalmente, la descomposición superficial con exceso de agua genera emisiones de CH4 y cuando se incrementa el carbono en la superficie hay una mayor actividad metabólica y aumenta los flujos de CO2. Para la incorporación se deben tener en cuenta las condiciones específicas del sitio (p. ej., gestión del suelo, cantidad de agua en el espacio poroso del suelo, variables climáticas y cantidad de residuos). También, es importante tener en cuenta las tasas de mineralización del N antes de la siembra del próximo cultivo para que este nutriente pueda ser asimilado por las plantas y se reduzcan las emisiones de GEI. Por ejemplo, Corrales et al. (1997), encontraron en suelos del orden Oxisol de Carimagua con cultivos de arroz, la aplicación de cal (500 kg/ha), 80 kg/ha de urea y 60 kg/ha de P, que la tasa de mineralización del 93% del nitrógeno del tamo o soca ocurría a los 79 días cuando no se incorporaba y a los 39 días cuando el tamo o soca fue incorporada a 5 cm de profundidad. La eficiencia en el uso del tamo o soca y la mineralización de los nutrientes contenidos, está relacionada con su incorporación en el suelo entre los 5 y 15 cm de profundidad para lograr la descomposición completa de todos los compuestos orgánicos y conducir a que los elementos esenciales se convierten a formas inorgánicas simples, asimilables por parte de la planta (iones NH4+, H2PO4− y SO42−). Estos aspectos benefician la planificación y manejo del tamo o soca, se reciclan los nutrientes, se disminuye la dependencia de fertilizantes minerales y las emisiones de GEI, se ahorra dinero y contribuye al modelo de arroz bajo en carbono. También es importante considerar el ingreso y disponibilidad de nutrientes a través de los cultivos de servicios, que dependiendo de su especie pueden aportar una buena cantidad, por ejemplo, en suelos de producción de arroz en rotación con leguminosas Van Eerd et al. (2022), encontraron un aporte de nutrientes entre el 11 y el 13% que puede disminuir los costos de producción.

¿Qué se debe tener en cuenta y cómo se debe incorporar el tamo o soca del arroz?



La gestión eficiente de nutrientes disminuye los costos de producción al menos en el 20% y puede reducir hasta el 80% de emisiones de metano (CH_4)

4. Gestión integral de malezas en agroecosistemas de arroz bajo en carbono

En cualquier sistema de producción de arroz, las malezas son una de las principales restricciones biológicas para la productividad. Las malezas que predominan en los predios arroceros son las que se han adaptado al ambiente especifico que requiere el cultivo y las practicas utilizadas, incluyendo las de control. Por esta razón en áreas donde tradicionalmente se siembra arroz se presentan los mayores problemas de malezas. Las especies de malezas que persisten en las zonas de cultivo cuentan con mecanismos que les han permitido perpetuarse en este ambiente. Tales mecanismos deben ser contrarrestados para reducir las poblaciones actuales en terrenos tradicionalmente cultivados o para evitar el predominio de especies difíciles de controlar en predios que se están incorporando al modelo de arroz bajo en carbono. Para lograr estos objetivos es necesario gestionar las malezas de forma tal que a la vez que se eviten las pérdidas de rendimiento causadas por la competencia, y se limite la reproducción de las especies más problemáticas.

La gestión integrada de malezas permite integrar la aplicación de una serie de prácticas, mediante las cuales se limita el desarrollo e infestación de las malezas. Estas prácticas integran los siguientes elementos: variedades con habilidad para competir con las malezas, adaptadas a la oferta ambiental, uso de semilla certificada, manejo de una densidad óptima de plantas, fertilización balanceada y suministrada en los tiempos requeridos por la planta de arroz, utilización de métodos de labranza que remuevan menos el suelo, manejo eficiente del agua, canales y caballones libres de malezas, implementación de cultivos de servicios (rotación o cobertura), ya que esto se consideran proveedores de servicios ecosistémicos (servicio de regulación de plagas y malezas), cuidadosamente planeada, manejo sanitario oportuno del cultivo, el uso eficaz, seguro y sostenible de herbicidas. Así como, operaciones de cosecha adecuadas para que no se dispersen las semillas de malezas, y uso de prácticas de manejo preventivo de malezas que reduzcan el banco de semillas del suelo.

¿Cómo manejar de manera integral las malezas y evitar su proliferación?

¡El siguiente es el paso a paso!

Determine el uso de semilla certificada, la siembra de una semilla de alta calidad asegura beneficios del ciclo de producción. La semilla de costal puede ser uno de los medios como se infestan de malezas nocivas los lotes de cultivo.

Aplique medidas preventivas como limpieza del campo y de sus bordes y la maquinaria al ser trasladada de un campo a otro. Esto evita la producción y dispersión de las semillas de las malezas de difícil manejo.

Determine la temporalidad de los monitoreos para evaluar los focos de crecimiento de malezas y cree un mapa de riego para el manejo sitio-específico.

Tome medidas tempranas y sitio-específicas para evitar que las malezas emerjan con el cultivo y programe las medidas pos-emergencia cuando estas se encuentren en un estado fenológico de 2 a 3 hojas. Las pérdidas de rendimiento de arroz están ligadas, generalmente, a un manejo tardío, porque las plantas de arroz no logran recuperarse de la competencia de las malezas.

Determine las acciones con uso de herbicidas con criterio sitio-específico y evaluando los ingredientes activos a utilizar, así como los equipos adecuados para la aplicación, los cuales deben estar calibrados

Tenga en cuenta el uso de los herbicidas en dosis, épocas de aplicación, edad de la maleza y condiciones de humedad adecuadas para no generar aparición de biotipos de malezas más resistentes, cambios en la composición de la flora de las malezas e impactos sobre suelos, aguas y biodiversidad.

Considere que el uso de herbicidas genera emisiones indirectas de GEI por su aplicación, así como el combustible de los equipos utilizados e incrementa la huella de carbono.

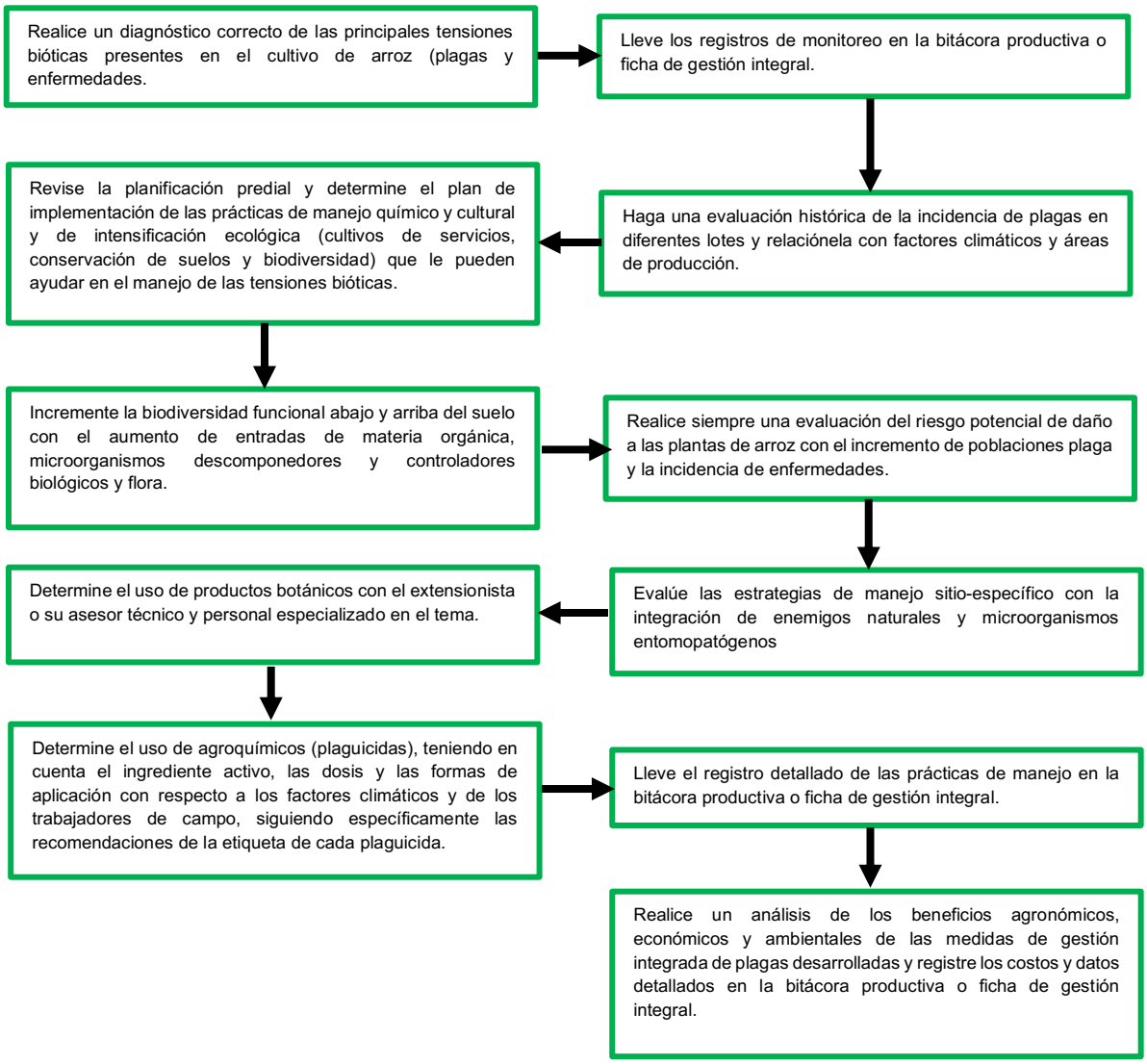
Registre las aplicaciones y manejo en su bitácora por ductiva y analice los efectos del manejo sitio-específico o eficiente en los costos de producción y en las emisiones de GEI.

La gestión integral de malezas incrementa la competitividad del modelo de arroz bajo en carbono, al disminuir hasta el 13% los costos por uso de agroquímicos, y reduce los impactos sobre los recursos naturales.

5. Gestión integral de plagas (GIP) en modelo de arroz bajo en carbono

La productividad de los agroecosistemas de arroz puede verse afectada negativamente por diferentes tensiones bióticas y abióticas. Dentro de las tensiones bióticas se encuentran el ataque de plagas y enfermedades que pueden desencadenar daños económicos severos. En general, se tiende a utilizar agroquímicos en cantidades más altas de las necesarias que ponen en peligro a biodiversidad natural, fomentan el resurgimiento de nuevas plagas y enfermedades, incrementan la resistencia (Chatterjee *et al.*, 2021) y contaminan los suelos y aguas. Por lo anterior, existe la necesidad de explorar opciones alternativas de gestión integral basada en el uso de insumos biológicos y botánicos, junto con estrategias de servicios de regulación de plagas por medio de prácticas de intensificación ecológica para el uso eficiente y cada vez más reducido, de productos químicos. Para implementar un enfoque de GIP, el primer paso es diagnosticar correctamente las plagas presentes en los cultivos de arroz y de esta manera desarrollar una estrategia bajo múltiples enfoques. En el caso de uso de enemigos naturales y microorganismos entomopatógenos como alternativa a los medios químicos, es necesario conseguir una dinámica poblacional balanceada entre plagas y sus enemigos naturales. Esto implica no sólo el ingreso del producto, sino su integración en el agroecosistema a través de la creación de hábitats y el incremento de la complejidad del paisaje para activar el servicio ecosistémico de control de plagas (Chou *et al*., 2022).

¿Cuáles son los pasos a seguir para la implementación de un sistema de gestión integral de plagas? A continuación, encontrará el paso a paso.



Un modelo de arroz bajo en carbono sostenible implica la integración de alternativas en la gestión integral de plagas

6. Gestión integral del agua en agroecosistemas de arroz bajo en carbono

El uso del agua dulce en la agricultura a nivel global alcanza el 70% de la disponibilidad en el planeta. Lo anterior, determina que existe un constante interés en gestionar de manera integral el recurso hídrico asociado a los agroecosistemas, así mismo, de evaluar las formas complejas en que las actividades humanas como la agricultura afectan el recurso. La gestión del agua en los cultivos de arroz se considera determinante para la conservación del recurso en la Orinoquía, que presenta un proceso migratorio de uso de suelo para la producción de arroz, en los últimos años.

La disponibilidad de agua en la Orinoquia está determinada por las condiciones específicas del clima. En esta región la precipitación tiene un patrón monomodal de distribución de lluvias, que hace referencia a una temporada de precipitaciones intensas entre abril y octubre mientras que, en los otros meses son menos intensas y frecuentes. Otro factor condicionante de la oferta hídrica a nivel de la zona de raíces es el suelo y el relieve. Los suelos de zonas altas y con alto contenido de arena configuran una condición de alto riesgo para la producción de arroz, contrario a las posiciones bajas del paisaje y altos contenidos de arcilla. No obstante, los efectos del manejo de los cultivos y otras actividades económicas, así como también, los fenómenos de variabilidad climática pueden generar riesgo para los sistemas productivos de arroz. Este cultivo depende de la disponibilidad de agua, entre otros aspectos, para su óptimo crecimiento y posterior productividad por unidad de área. Lo anterior refuerza la pertinencia y relevancia de determinar el uso eficiente de este recurso y la prevención o mitigación de los efectos ambientales adversos sobre el agua y los ecosistemas acuáticos en la región.

¿Cómo manejar de manera eficiente y conservar el recurso hídrico de la región? Estos son los pasos a seguir.

Tome el diagnóstico de las características de los suelos del componente 2 de esta guía y compléntelo con un diagnóstico de la disponibilidad de agua en el agroecosistema.

→ Revise la normatividad para el uso, concesión y reporte de manejo de agua ante la corporación autónoma regional correspondiente.

↓ Analice las características de disponibilidad de agua en la ventana del ciclo productivo que manejará a partir de la información climática gestionada en el componente 1 de esta guía.

← Revise el estado de la maquinaria y su calibración para desarrollar las prácticas de preparación y nivelación.

↓ Tenga en cuenta la planificación predial y productiva para la preparación de los suelos y determine las prácticas a desarrollar según el lote, los suelos, el clima y la disponibilidad de agua.

→ Realice las prácticas de adecuación (nivelación, curvas de nivel, barreras naturales de contención y necesidades hídricas del cultivo de arroz para el desarrollo y crecimiento óptimo del cultivo, de ser posible utilice herramientas tecnológicas disponibles.

↓ Mantenga la cantidad de agua óptima para cada etapa de desarrollo de las plantas de arroz haciendo constante monitoreo y con respecto a las características del suelo y la posición en el relieve.

← Revise las estrategias de gestión integrada de plagas, enfermedades y arvenses, haciendo énfasis en el manejo sitio-específico para prevenir y mitigar los impactos negativos sobre el recurso hídrico.

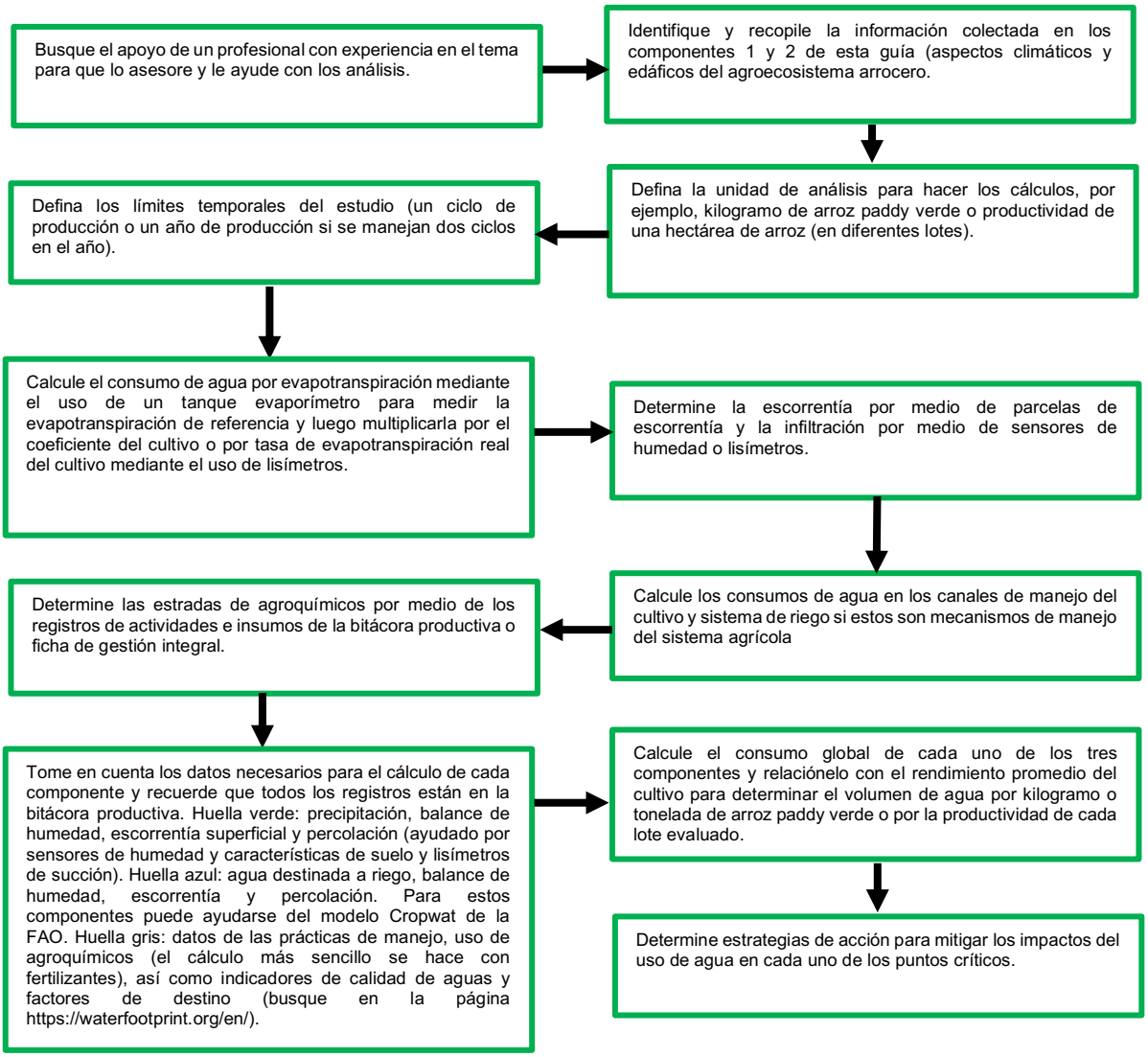
↓ Registre las actividades realizadas para el manejo eficiente del agua en el ciclo de producción, así como la cantidad de agua utilizada por diferentes fuentes en la bitácora productiva o ficha de gestión integral.

6.1 Indicadores ambientales para la gestión en agroecosistemas de arroz bajo en carbono: huella hídrica

El concepto de huella hídrica (HH) de un producto se define como el volumen total de agua dulce usada de manera directa e indirecta a través de la cadena de suministro. La HH es un indicador ambiental que determina cuánta agua es necesaria para producir un bien y en este caso es arroz. El uso de agua se mide en términos de volumen de agua consumidos (evaporados o incorporados) y/o contaminados en un horizonte de tiempo determinado. Es un indicador geográfico explícito que no solo muestra el volumen de uso de agua, sino que también lo relaciona con lugares específicos (Hoekstra, et al., 2011). La huella hídrica incluye tres componentes claves: la huella verde (HV) que se refiere al agua de precipitación evaporada o incorporada al producto durante el procesos de producción; la huella azul (HA), que comprende el volumen de agua superficial y subterránea incorporada al producto o devuelta a otra cuenca y la huella gris (HG), que hace referencia al volumen de agua que se requiere para asimilar la carga de contaminantes hasta llegar a concentraciones que cumplan con la normatividad del sector de estudio. Para la gestión eficiente de agua en el modelo de arroz bajo en carbono es importante evaluar su uso y la huella hídrica es un excelente indicador para este proceso.

¿Cómo calcular la huella hídrica de un modelo de arroz bajo en carbono? Señor productor y señora productora, este es el paso a paso.

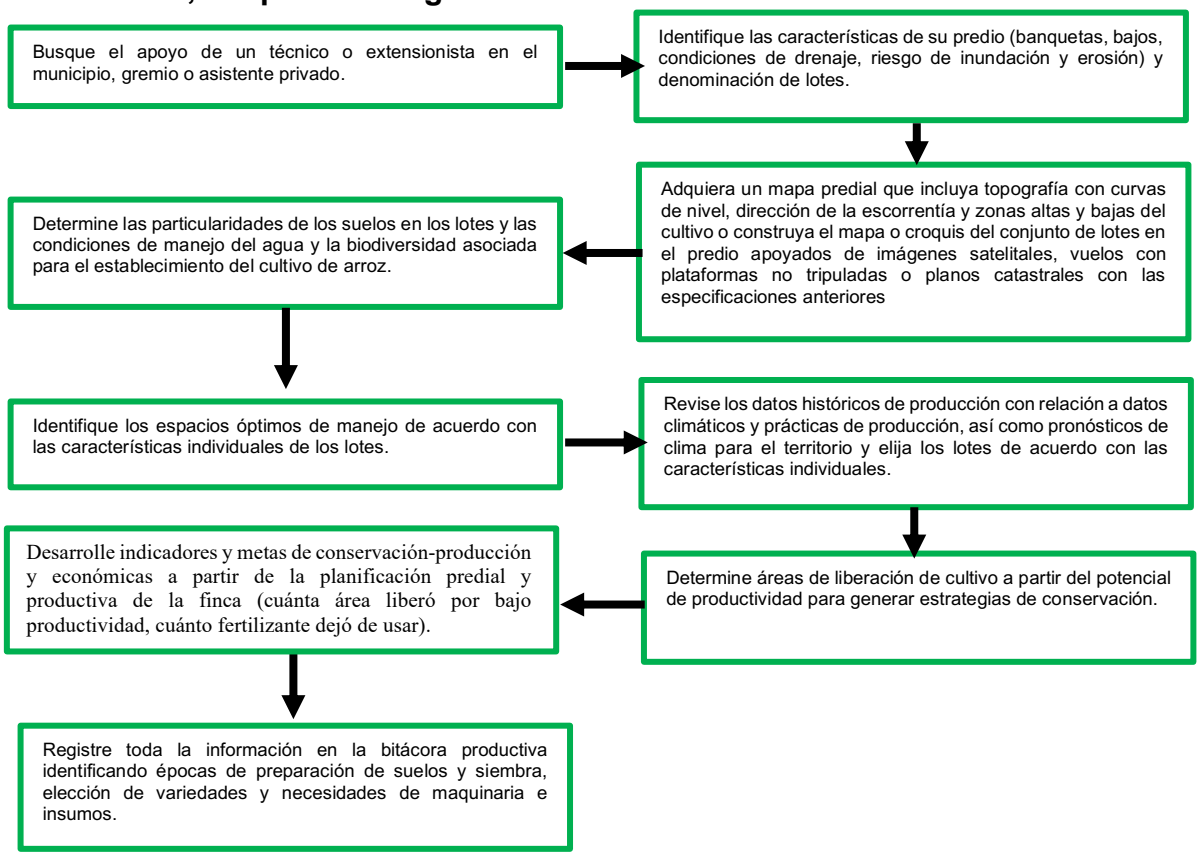
La gestión del recurso hídrico es indispensable en un modelo de arroz bajo en carbono con menor huella hídrica


Busque el apoyo de un profesional con experiencia en el tema para que lo asesore y le ayude con los análisis.
Identifique y recopile la información colectada en los componentes 1 y 2 de esta guía (aspectos climáticos y edáficos del agroecosistema arrocero.
Defina la unidad de análisis para hacer los cálculos, por ejemplo, kilogramo de arroz paddy verde o productividad de una hectárea de arroz (en diferentes lotes).
Defina los límites temporales del estudio (un ciclo de producción o un año de producción si se manejan dos ciclos en el año).
Calcule el consumo de agua por evapotranspiración mediante el uso de un tanque evaporímetro para medir la evapotranspiración de referencia y luego multiplicarla por el coeficiente del cultivo o por tasa de evapotranspiración real del cultivo mediante el uso de lisímetros.
Determine la escorrentía por medio de parcelas de escorrentía y la infiltración por medio de sensores de humedad o lisímetros.
Calcule los consumos de agua en los canales de manejo del cultivo y sistema de riego si estos son mecanismos de manejo del sistema agrícola
Determine las estradas de agroquímicos por medio de los registros de actividades e insumos de la bitácora productiva o ficha de gestión integral.
Tome en cuenta los datos necesarios para el cálculo de cada componente y recuerde que todos los registros están en la bitácora productiva. Huella verde: precipitación, balance de humedad, escorrentía superficial y percolación (ayudado por sensores de humedad y características de suelo y lisímetros de succión). Huella azul: agua destinada a riego, balance de humedad, escorrentía y percolación. Para estos componentes puede ayudarse del modelo Cropwat de la FAO. Huella gris: datos de las prácticas de manejo, uso de agroquímicos (el cálculo más sencillo se hace con fertilizantes), así como indicadores de calidad de aguas y factores de destino (busque en la página https://waterfootprint.org/en/).
Calcule el consumo global de cada uno de los tres componentes y relaciónelo con el rendimiento promedio del cultivo para determinar el volumen de agua por kilogramo o tonelada de arroz paddy verde o por la productividad de cada lote evaluado.
Determine estrategias de acción para mitigar los impactos del uso de agua en cada uno de los puntos críticos.

7. Planificación predial y productiva en agroecosistemas de arroz bajo en carbono

La planificación predial determina un conjunto de acciones para optimizar el manejo de los sistemas productivos en las fincas arroceras. Los productores de arroz deben considerar factores como las características del terreno (terrazas o banquetas, bajos y vegas o vegones). Así como también, la disponibilidad de agua, las cercas vivas y los bosques circundantes. Además, las consideraciones dadas por la oferta ambiental del paisaje en donde se encuentra ubicada la finca, por ejemplo, la biodiversidad asociada a sus cultivos, las características de sus suelos, la precipitación y la radiación solar. De esta manera, se puede realizar una mejor decisión de las variedades, densidades de siembra, uso de maquinaria para la preparación del terreno y uso de maquinaria en el momento de la siembra, así como en el manejo sitio-específico.

¿Cuál es el paso a paso para hacer la planificación predial y productiva? A continuación, los pasos a seguir



La planificación predial y productiva permite identificar riesgos y su gestión reduce la vulnerabilidad, conserva los recursos e incrementa la competitividad

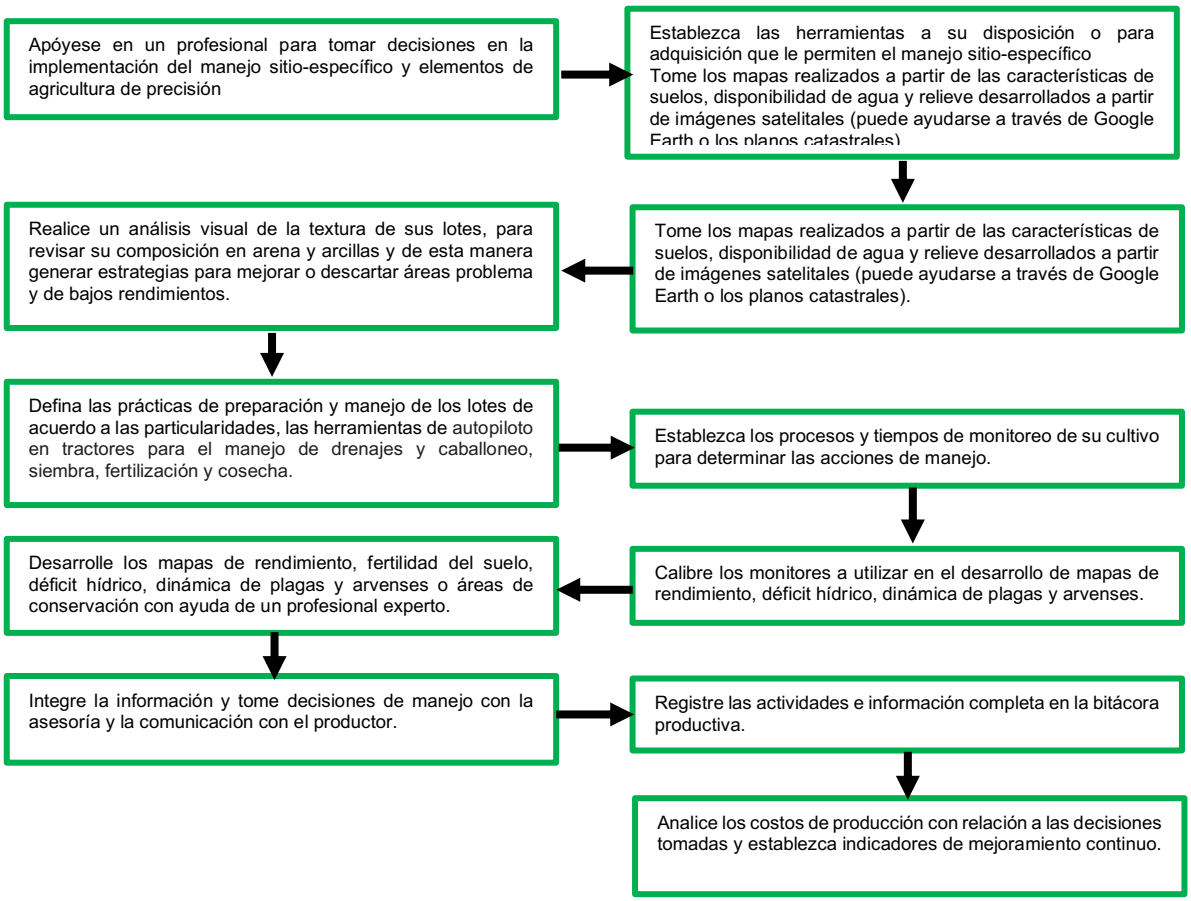
8. Gestión integral sitio-específica en agroecosistemas de arroz bajo en carbono

Los productores y las productoras de arroz necesitan tomar decisiones con base en información certera y oportuna para la gestión óptima del sistema de producción. La agricultura de precisión es un conjunto de técnicas orientadas a optimizar el uso de los insumos agrícolas (semillas, agroquímicos y fertilizantes) y de la maquinaria en función de la variabilidad espacial y temporal. Esto ayuda a reducir los costos y disminuir el impacto sobre los recursos naturales. Por ejemplo, una buena caracterización edáfica, con utilización frecuente de análisis de suelo, es el procedimiento básico para orientar la toma de decisiones en el manejo agronómico de los cultivos en la agricultura moderna. Dentro de las aplicaciones de agricultura de precisión, los muestreos georreferenciados de suelos por sitio-especifico permiten mapear las variaciones de fertilidad dentro de las áreas cultivadas y definir intervenciones de manejo localizado, que procura optimizar el uso de correctivos y fertilizantes por medio de aplicaciones a dosis variable de acuerdo con la demanda local del cultivo.

El avance en adquisición y registro de datos, la precisión del monitoreo de variables ambientales y el conocimiento detallado de los predios por parte de los productores de arroz. Así como, el conocimiento y la aplicación de modelos de cultivos y la integración de las variables a nivel de agroecosistema, por parte de los extensionistas, permiten integrar las tecnologías existentes y emergentes para progresar en el uso de parámetros de agricultura de precisión y el desarrollo de mecanismos de la agricultura climáticamente inteligente (ACI). Las herramientas tecnológicas para el manejo sitio-específico de cultivos de arroz pueden contribuir a las seguridad nutricional y alimentaria con un alcance integral ya que son los medios para gestionar de manera integral el agroecosistema y el paisaje circundante. Por ejemplo, el manejo de información (que muchas veces es de acceso gratuito), permite determinar el efecto de la variabilidad climática sobre el crecimiento y desarrollo de las plantas, la eficiencia en el uso de insumos y a la vez reducir los impactos sobre el suelo y el agua, las emisiones de GEI y la ampliación de la frontera agrícola en el territorio, y de esta manera, aportar a la sostenibilidad del sistema productivo de arroz en la Orinoquia..

.

Para el manejo sitio-específico del sistema productivo se deben seguir los siguientes pasos.



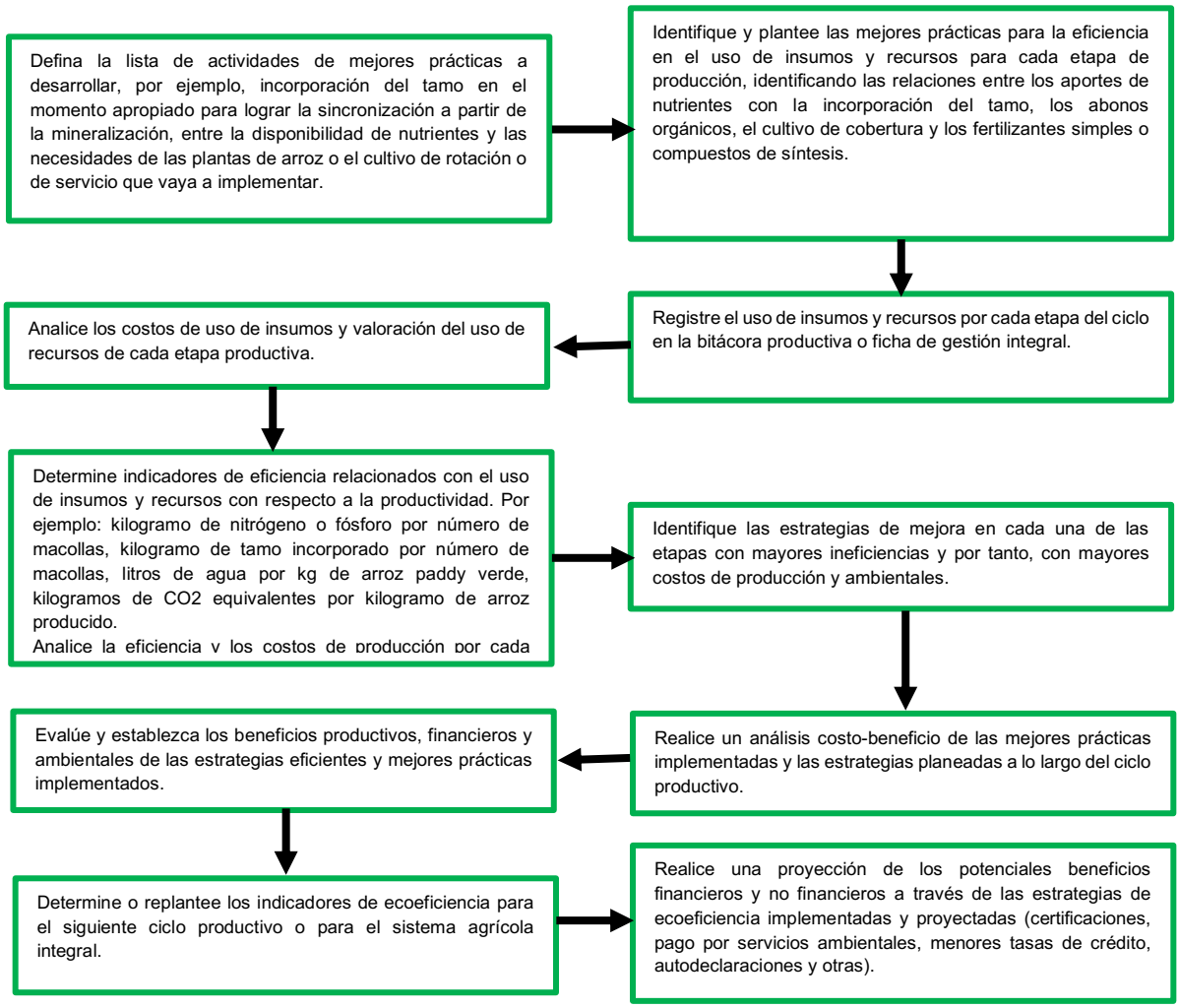
La gestión sitio-específica es la mejor herramienta para reducir costos y lograr parámetros de ecoeficiencia en el modelo de arroz bajo en carbono. Los costos de producción bajo la integración de prácticas y su gestión sitio-específica pueden reducirse en un 33%

9. Ecoeficiencia en la gestión de agroecosistemas de arroz bajos en carbono

La ecoeficiencia es un enfoque bajo el cual se planean actividades productivas con criterios de mejoras ambientales y búsqueda de beneficios económicos. A partir de la gestión eficiente se vincula el desempeño financiero de la actividad agrícola arrocera y su desempeño ambiental. Los sistemas productivos de arroz dan lugar a externalidades negativas y dentro de estas, las emisiones de gases de efecto invernadero, especialmente metano y óxido nitroso y se contribuye a la contaminación de aguas. Por esta razón, se debe considerar la eficiencia en el uso de recursos y la optimización de procesos productivos y así, incrementar la compatibilidad de la producción de arroz con la conservación de los recursos y a la vez disminuir los costos de producción en el ciclo de vida del producto. El propósito es mantener o incrementar la productividad por unidad de área con menos impacto ecológico, y mediante la aplicación de mecanismos de eficiencia e incremento de los flujos de energía, reducir las pérdidas y aumentar el reciclaje de materia para el desarrollo de sistemas productivos sostenibles.

Para un manejo ecoeficiente del sistema productivo se deben seguir los siguientes pasos.

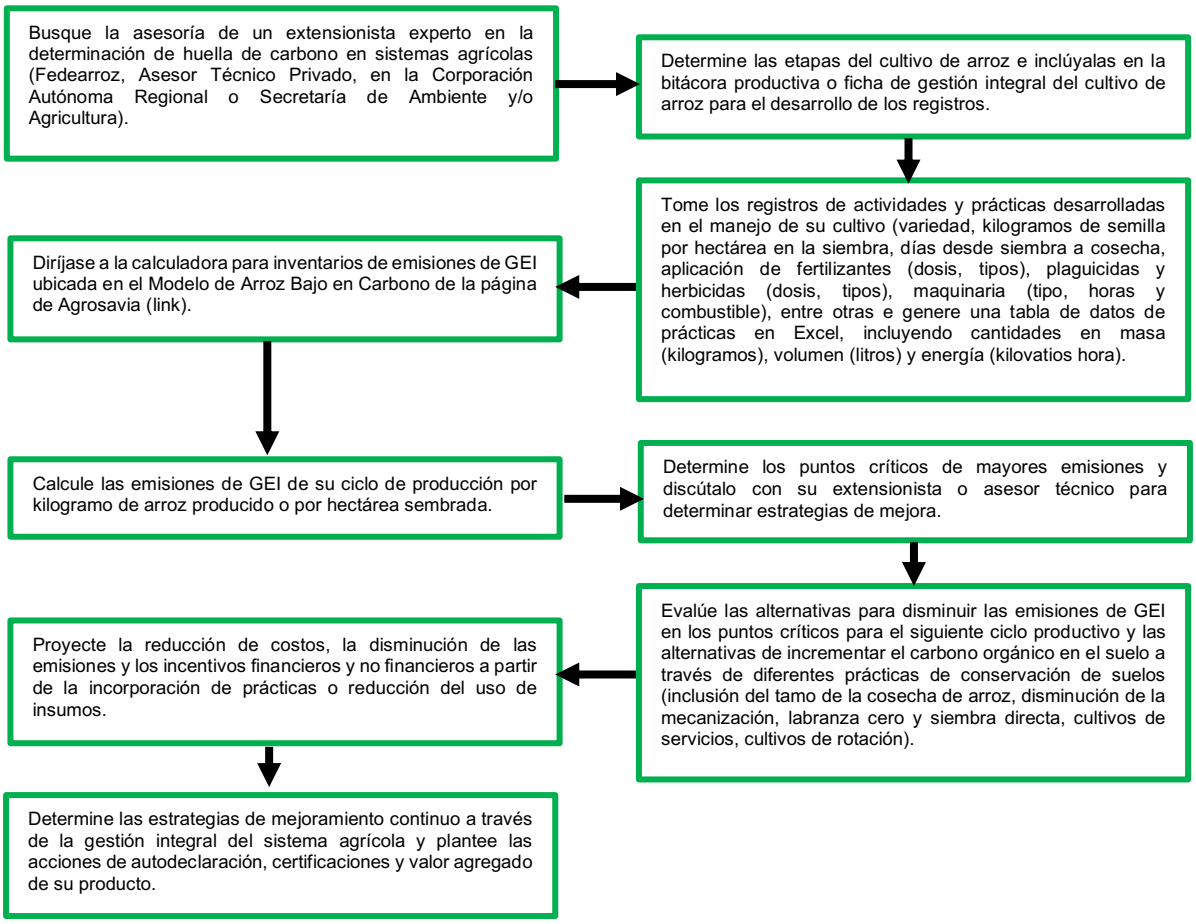
Para un manejo ecoeficiente del sistema productivo se deben seguir los siguientes pasos.



9.1 Indicadores ambientales para la gestión de agroecosistemas de arroz bajos en carbono: huella de carbono

Las emisiones de GEI en los cultivos de arroz están asociadas principalmente, al manejo de los suelos, el aporte de fertilizantes nitrogenados y la quema de biomasa. Por lo tanto, se requieren con urgencia soluciones para mitigar los impactos de uso de la tierra en la producción agrícola. La agricultura ofrece posibilidades de mitigar los aportes al cambio climático a partir de la gestión de suelos, el uso eficiente de los insumos y la gestión integrada de las prácticas a partir de la oferta ambiental en el territorio. Por ejemplo, la conservación del suelo puede incrementar la productividad, almacenar el carbono orgánico del suelo, reducir la contaminación del agua y mitigar las emisiones de GEI a la atmósfera.
Por esto, es necesario monitorear, calcular o estimar las emisiones de GEI en los sistemas productivos y establecer estrategias de reducción para lograr modelos bajos en carbono. La evaluación de la huella de carbono es un mecanismo útil para medir la presión humana y el impacto ambiental en la producción de arroz. La huella de carbono se refiere al conjunto de emisiones directas e indirectas de GEI causados por la generación de un producto, la cual puede ser analizada utilizando una aproximación de ciclo de vida (ISO, 2013). La importancia de estimar la huella de carbono de los sistemas productivos de arroz está en la determinación de los procesos de optimización y uso eficiente de recursos para la mitigación de los aportes al cambio climático.

¡Calcule su huella de carbono y gestione las medidas de mitigación, el siguiente es el paso a paso!



Producir más con menos, la base para la sostenibilidad en el modelo de arroz bajo en carbono

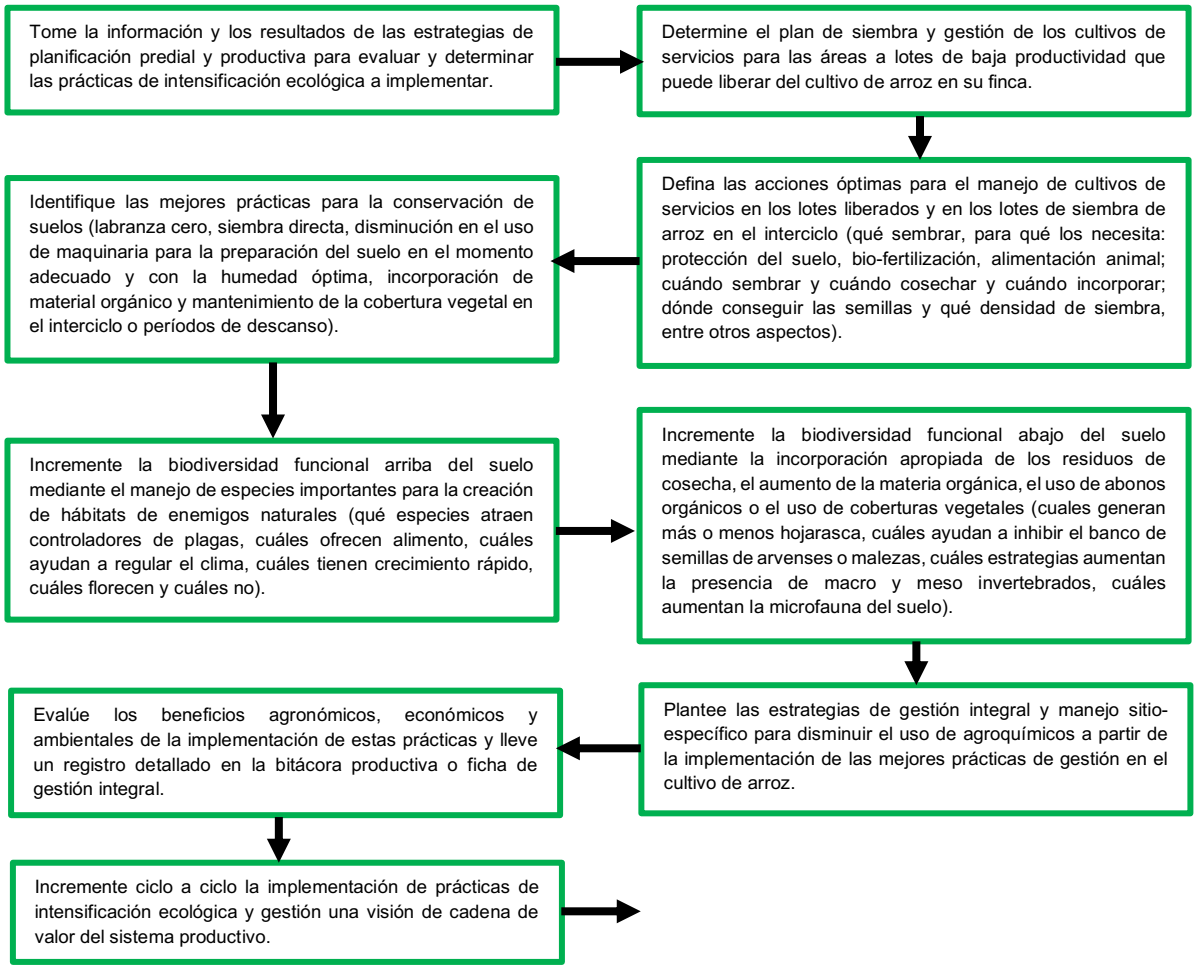
10. Acciones para la gestión e intensificación ecológica (IE) en los paisajes con matriz arrocera bajos en carbono

La intensificación ecológica se determina como una alternativa para restaurar las funciones del agroecosistema, ya que el incremento de las interrelaciones entre sus componentes estructurales o procesos ecológicos, aumenta su capacidad de recuperación y autonomía (Landis, 2017). Las prácticas propuestas en la intensificación ecológica en agroecosistemas se afianzan en la aplicación de los procesos ecológicos hacia la prestación de múltiples servicios ecosistémicos (Hatt et al., 2018). Estas prácticas se consideran una de las vías emergentes para abordar los desafíos de la producción de alimento (en este caso arroz), aumentar la eficiencia en el uso de recursos y conservar e incrementar las funciones de los agroecosistemas en una oferta de clima cambiante. Las alternativas de IE basadas en la naturaleza, complementan o (parcialmente) reemplazan los insumos externos con procesos ecológicos, reduciendo los efectos adversos sobre el ambiente (Kleijn et al., 2019). Además, permiten planificar los paisajes agrícolas con matriz arrocera dentro de un contexto integración de agroecosistemas de acuerdo a la oferta ambiental, diferentes unidades de suelos, microclimas, oferta hídrica y gestión del conocimiento en la Orinoquia. Los enfoques más populares de la intensificación ecológica involucran diferentes estrategias de conservación. Por ejemplo, para reducir la perturbación física del suelo, se busca promover el incremento de materia orgánica del suelo y el reciclaje de los recursos agrícolas (Yu et al., 2022), esto se puede lograr a partir de la incorporación de la soca del cultivo de arroz. Así mismo, el manejo de cultivos de servicios (rotación o cobertura), que determinan diferentes beneficios (servicios ecosistémicos) como: el incremento de la biodiversidad funcional, mantenimiento de estructura de suelos, infiltración de agua, disminución de la proliferación de malezas o fijación de nitrógeno, entre otros. Estos, además, proporcionan ingreso de residuos, aumentan la materia orgánica del suelo e incrementan la eficiencia en el uso de nutrientes y almacenamiento de agua. De igual manera, revisar e identificar los sostos de manejo de los cultivos de cobertura y los beneficios de protección del suelo en la época seca, permite analizar los beneficios de los costos globales de la producción en el siguiente ciclo ya que la conservación de agua en los suelos

incrementa la eficiencia en el uso de maquinaria en la preparación de los suelos y le permite gestionar las fechas de siembra e incorporación adecuada de los residuos de cosecha.

De otro lado, la planificación predial y productiva y las estrategias de producción-conservación incrementan la biodiversidad funcional y determinan una configuración espacial más heterogénea y con mayor complejidad del paisaje arrocero que conducen a un mayor servicio de regulación de plagas y enfermedades y, además, disminuyen los costos de producción. La IE está integrada con los mecanismos de ecoeficiencia que se deben implementar en el modelo de arroz bajo en carbono. Todos estos aspectos de IE han sido considerados en los componentes de gestión integral de suelos y aguas y en la planificación predial y productiva de esta guía. Lo anterior determina que se deben definir cuáles son las prácticas de IE más adaptables a su integración en el modelo de arroz bajo en carbono mediante el análisis de los beneficios agronómicos y económicos más relevantes de estas prácticas.

Los pasos a seguir para implementar acciones de intensificación ecológica son los siguientes.



La intensificación ecológica y la ecoeficiencia determinan la sostenibilidad del modelo de arroz bajo en carbono en la Orinoquía. Los cultivos de servicios pueden reducir los costos de uso de fertilizantes hasta el 20%

Referencias

CBD (Convention on Biological Diversity) (1992). United Nations, p. 3. Revisado 4 de octubre, 2022 en www.cbd.int/doc/legal/cbd-en.pdf

Chatterjee, S., Gangopadhyay, C., Bandyopadhyay, P., Bhowmick, M. K., Roy, S. K., Majumder, A., Gathala, M. K., Tanwar, R. K., Singh, S. P., Birah, A., & Chattopadhyay, C. (2021). Input-based assessment on integrated pest management for transplanted rice (Oryza sativa) in India. *Crop Protection*, *141*(July 2020), 105444. https://doi.org/10.1016/j.cropro.2020.105444

Chou, C., Hadi, B. A. R., Chiba, S., Sato, I., Choi, I. R., & Tanaka, T. (2022). An entomopathogenic fungus and a natural extract benefit rice (Oryza sativa) by suppressing populations of insect pests while keeping high populations of their natural enemies. *Biological Control*, *165*(May 2021), 104793. https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2021.104793

CMNUCC, 2013: Reporting and accounting of LULUCF activities under the Kyoto Protocol. Convencion Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), Bonn, Alemania. Disponible en: http://unfccc.int/methods/lulucf/items/4129.php.

Corrales I., Asakawa, N. & Thomas, R. (1997). Annual Report 1997 - Project PE2 Confronting soil degradation. Centro Internacional de Agricultura Tropical.

FAO. 2017. Carbono Orgánico del Suelo: el potencial oculto. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura Roma, Italia.

FAO, 2018: Climate–Smart Agriculture. Organizacion de las Naciones Unidas para la Alimentacion y la Agricultura (FAO). Disponible en: www.fao.org/climate–smart–agriculture.

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: 557–81. https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.35.021103.105711

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

Gupta, A. (2011). Tropical Geomorphology. Cambridge University Press.

Greenfacts (2022). https://www.greenfacts.org/glossary/wxyz/water-regime.htm

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. Available from www.cices.eu

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

Herrmann, S.M. & Mohr, K.I. (2011). American Meteorological Society A Continental-Scale Classification of Rainfall Seasonality Regimes in Africa Based on Gridded Precipitation and Land Surface Temperature. Journal of Applied Meteorology and Climatology. Volume 50 (12). https://doi.org/10.1175/JAMC-D-11-024.1

IBI, 2018: Frequently Asked Questions About Biochar: ¿What is biochar? International Biochar Initiative (IBI). Disponible en: https://biochar–international.org/faqs.

IPCC, 2018: Anexo I: Glosario [Matthews J.B.R. (ed.)]. En: Calentamiento global de 1,5 °C, Informe especial del IPCC sobre los impactos del calentamiento global de 1,5 ºC 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 [Masson-Delmotte V., P. Zhai, H.-O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P.R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J.B.R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M.I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor y T. Waterfield (eds.)].

ISO/TS 14067. (2013). Greenhouse Gases and Carbon Footprint of Products andRequirements and Guidelines for Quantification and Communication (TechnicalSpecifications). International Organization for Standardization, Geneva.

ISO 14001. (2015). Environmental management systems — Requirements with guidance for use. International Organization for Standardization, Geneva.

ISO 14040. (2006). Environmental management — Life cycle assessment — Principles and framework. Switzerland.

Kleijn, D., Bommarco, R., Fijen, T. P. M., Garibaldi, L. A., Potts, S. G., & van der Putten, W. H. (2019). Ecological Intensification: Bridging the Gap between Science and Practice. In *Trends in Ecology and Evolution* (Vol. 34, Issue 2, pp. 154–166). Elsevier Ltd. 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.

Malagón Castro, D. (2003). Ensayo sobre tipología de suelos colombianos -Énfasis en génesis y aspectos ambientales- Rev. Acad. Colomb. Cienc. 27(104): 319-341. ISSN 0370-3908.

Osman, K. T. (2013). Soils: Principles, properties and management. *Soils: Principles, Properties and Management*, *9789400756632*, 1–271. https://doi.org/10.1007/978-94-007-5663-2

Rahman, G. K. M. M., 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. In *Carbon and Nitrogen Cycling in Soil*. https://doi.org/10.1007/978-981-13-7264-3_3

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*(May 2022), 159990. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.159990

World Business Council for Sustainable Development (WBCSD). (2006). Eco-efficiency. Creating More Value with Less Impact. WBCSD, Geneva.

Biocarbono
Orinoquia
Paisajes sostenibles bajos en carbono

https://biocarbono.org/