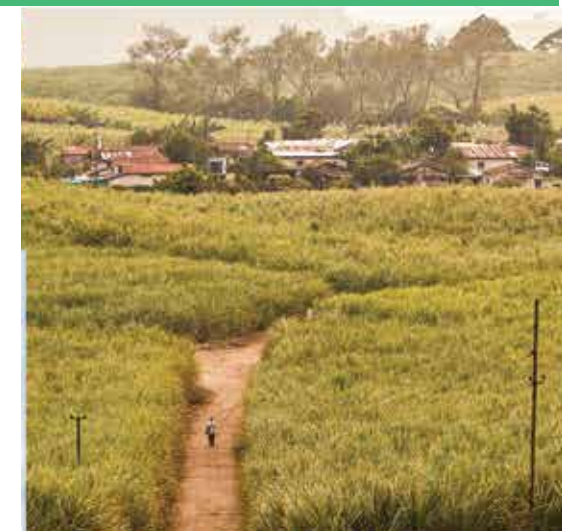




NAMA Caña de Azúcar Costa Rica Manual Descriptivo y Operativo del Piloto Nacional



Coordinación general:

Marco A. Chaves Solera, LAICA
Zaida Solano Valverde, LAICA

Equipo técnico:

Alejandro Rodríguez Morales,
DIECA – LAICA
Erick Chavarría Soto, DIECA –
LAICA
Fernando Bolaños De Ford, LAICA
– Técnico
Irene Medina Mora, LAICA
Johnny Montenegro Ballesteros,
INTA – IMN
Luis Bermúdez Acuña, LAICA –
Técnico
Marco A. Chaves Solera, LAICA
Mauricio Chacón Navarro, MAG
Zaida Solano Valverde, LAICA

Revisión y orientación técnica:

Mauricio Chacón Navarro, MAG
Pavel Rivera Vargas, UICN –
ACRXS
Tatiana Vargas Gutiérrez,
consultora AFD



Liga Agrícola Industrial
de la Caña de Azúcar

- LAICA -

**NAMA Caña de Azúcar Costa Rica
Manual Descriptivo y Operativo**

Piloto Nacional Caña de Azúcar
Costa Rica

San José, Costa Rica, 2022



Presentación

La Comisión Interministerial de Cooperación Internacional y Desarrollo del Ministerio de Asuntos Exteriores de Francia (MEAE) autorizó el 4 de abril de 2019 a la Agencia Francesa de Desarrollo (AFD) a operar en Costa Rica con un mandato que marca una prioridad a favor de la lucha contra los efectos del cambio climático, la preservación de la biodiversidad y en los sectores del agua y saneamiento. En 2019, Costa Rica publicó el Plan Nacional de Descarbonización (PND), con el cual busca convertir el país en una economía moderna, verde, libre de emisiones, resiliente e inclusiva. La visión de largo plazo del PND es contar con una economía descarbonizada en 2050 y así alcanzar la meta de contener el incremento de la temperatura global muy por debajo de los 2°C para cumplir con el Acuerdo de París.

El Ministerio de Hacienda de Costa Rica solicitó a la AFD un financiamiento de apoyo presupuestario para hacer frente a las necesidades de financiamiento público y respaldar las acciones encaminadas a lograr la sostenibilidad fiscal y, especialmente, a reconocer los esfuerzos financieros de Costa Rica dirigidos a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) y dar impulso a las políticas públicas de descarbonización de la economía.

A partir de esto, surge un Programa de Política Pública para contribuir a lograr algunos de los objetivos del PND: la transformación de los sectores de energía, transporte, forestal y agropecuario, así como la modernización institucional para asegurar la progresiva descarbonización de la economía costarricense. Los objetivos específicos son apoyar i) el fortalecimiento de la gestión y monitoreo de la acción climática en el país; ii) la conservación y restauración de ecosistemas de alta captación y la promoción de una agricultura climáticamente inteligente y iii) la electrificación del uso de la energía.

Las actividades de asistencia técnica, contenidas en el programa de Cooperación Técnica (CT) permitirán apoyar al Gobierno de Costa Rica (GCR) en el alcance de los objetivos contenidos en la Matriz del Programa de Política Pública. La AFD tiene la responsabilidad de la administración de sus fondos no-reembolsables y contrata a la Asociación Costa Rica por Siempre (ACRXS) como responsable de la ejecución y coordinación de las actividades de asistencia técnica. En este marco, la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN) apoya a la ACRXS en la supervisión del subcomponente de promoción de una agricultura climáticamente inteligente, cuyo objetivo principal es el apoyo al diseño de la NAMA Caña de Azúcar.

Contexto de la consultoría

Entre noviembre del 2020 y enero del 2021, se conformó un equipo técnico integrado por la Federación de Cámaras de Productores de Caña (FEDECAÑA), la Liga Agrícola Industrial de la Caña de Azúcar (LAICA)-Dirección de Investigación y Extensión de la Caña de Azúcar (DIECA), el Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG) - Oficina Sectorial de Acciones Climáticas y Descarbonización (OSACD) y el Instituto Nacional y Transferencia en Tecnología (INTA).

Asimismo, se aprueba el documento “*LINEAMIENTOS PARA EL DISEÑO DE UN NAMA EN EL CULTIVO DE LA CAÑA DE AZÚCAR EN COSTA RICA (Nota Conceptual)*”, elaborado por el grupo interdisciplinario integrado por los señores Miguel Vallejo Solís (Coordinador-GESTARSE) con el apoyo de los señores Marco Chaves Solera (LAICA), Zaida Solano Valverde (LAICA), Mauricio Chacón Navarro (MAG), Johnny Montenegro Ballesterero (INTA) y Christian Ocampo Vargas (FEDECAÑA). El diseño de esta Nota Conceptual fue financiado por la Agencia Francesa de Desarrollo (AFD).

Durante el segundo semestre del 2021, el Sector Cañero Azucarero de Costa Rica acuerda, a través de las juntas directivas de la Federación de Cámara de Productores de Caña, Cámara de Azucareros y Liga Agrícola Industrial de la Caña de Azúcar (LAICA), participar activamente, con un equipo multidisciplinario, en el diseño de la NAMA con base en la Nota Conceptual.

Objetivo de la consultoría

Objetivo general:

La prestación asociada al “*Diseño de la NAMA Caña de azúcar y de su plan piloto*” tiene como objetivo general diseñar esta NAMA, de modo que, el sector cañero azucarero pueda contar con una propuesta de desarrollo baja en carbono para la producción de la caña de azúcar, que contribuya a lograr las metas y compromisos del país en su Contribución Nacionalmente Determinada (NDC) y el Plan Nacional de Descarbonización, que tenga una base técnica y mecanismos de implementación bien definidos, consensuados con los sectores productivos y la institucionalidad agropecuaria, validados en aspectos climáticos por Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE), y con las condiciones necesarias para ser registrados ante NAMA Registry.

El objetivo propuesto para la NAMA Caña de Azúcar es implementar acciones tecnológicas estratégicas que le permitan a la agrocadena azucarera costarricense estimular e incrementar sus niveles de productividad agrícola en un marco de eco eficiencia ambiental, rentabilidad económica y beneficio social; incorporando medidas que contribuyan a la mitigación de los Gases de Efecto Invernadero (GEI), adaptando los diferentes sistemas agro productivos prevalecientes en el país, a las complejas condiciones impuestas por el cambio climático.

Los objetivos específicos de la contratación fueron:

1. Evaluar las capacidades del sector necesarias para el diseño de la NAMA Caña de Azúcar y brindar, al menos, dos sesiones de capacitación, a ser programadas según disponibilidad de los beneficiarios, en temas detectados como prioritarios.
2. Diseñar técnicamente la NAMA, incluyendo la caracterización de la actividad cañera, selección, priorización y evaluación de la aceptación de medidas de mitigación y adaptación propuestas por los productores, caracterización socio económica de la actividad cañera, elaboración de línea base de emisiones de GEI del sector al 2050 para toda la agro cadena, escenarios y metas de mitigación.
3. Realizar el diseño operacional de la NAMA, incluyendo la definición de los mecanismos de acompañamiento técnico, de innovación y desarrollo, de mercadeo y comercialización, de financiamiento y del esquema de gobernanza
4. Diseñar el concepto del sistema de Monitoreo, Reporte y Verificación (MRV) de la NAMA Caña de azúcar alineado con requerimientos del Sistema Nacional de Métrica en Cambio Climático (SINAMECC) y del Marco Reforzado de Transparencia del Acuerdo de París.
5. Diseñar el documento de la puesta en marcha de la primera etapa del piloto de la NAMA Caña de azúcar, con el cual, el sector cañero contará con un grupo de actores de la cadena y una propuesta de ejecución de la NAMA, una base técnica, metas cuantificables y mecanismos de implementación bien definidos, consensuados entre los productores y la institucionalidad agropecuaria.
6. Elaboración del informe final y propuesta del manual operativo para los implementadores de la NAMA Caña de azúcar.

Agencia Francesa de Desarrollo (AFD)

Entidad pública en el núcleo del sistema francés de cooperación, la Agencia Francesa de Desarrollo (AFD) trabaja desde hace más de setenta años en la lucha contra la pobreza y para favorecer el desarrollo en los países del sur. Apoya igualmente el dinamismo económico y social de los Ultramar. Lo anterior, por medio de subvenciones, de préstamos, de fondos de garantía o de contratos de desendeudamiento y de desarrollo, financia proyectos, programas y estudios y presta asistencia a sus socios del sur para que refuercen sus capacidades.

En este sentido, la AFD financia y respalda proyectos y programas de desarrollo que apoyan un crecimiento económico más sostenible y compartido, mejoran las condiciones de vida de los más pobres, contribuyen a la preservación del planeta y ayudan a estabilizar a los países frágiles o que salen de una crisis.

Asociación Costa Rica por Siempre (ACRXS)

Es una organización ambiental de carácter privado que promueve la conservación de los ecosistemas marinos y terrestres a perpetuidad, mediante la gestión de recursos financieros y alianzas con gobiernos, sector privado y sociedad civil.

En el marco de la presente consultoría, la ACRXS gestionó fondos y alianzas, dirigidos al seguimiento técnico y financiero para llevar a cabo el **“Diseño de la NAMA Caña de azúcar y de su plan piloto”**, en conjunto con socios clave del sector (MAG, INTA, LAICA-DIECA, entre otros). Con dicho seguimiento, se propició la gestión de espacios de intercambio técnico entre actores clave y equipo técnico, con el fin de garantizar la generación de productos a conformidad tanto para el sector de interés como para el donante.

RoI UICN-ACRXS

Desde hace más de 30 años, la Oficina Regional para México, Centroamérica y el Caribe (ORMACC) de la UICN implementa y ejecuta proyectos junto a miembros y aliados en la mayoría de países de la región, ya sea en comunidades locales y pueblos indígenas específicos o en áreas de trabajo que incluyen más de un país o incluso zonas terrestres, costeras o marinas.

ORMACC demuestra una trayectoria consolidada en términos de biodiversidad, gobernanza forestal, gobernanza del agua, fortalecimiento institucional, desarrollo de



capacidades y empoderamiento de organizaciones campesinas, indígenas y locales, incidencia política en el marco nacional y regional de biodiversidad, cambio climático, recursos hídricos, reducción del riesgo de desastres y áreas protegidas, gestión ambiental local y desarrollo local, gestión costera, adaptación al cambio climático basada en ecosistemas, gestión de pequeñas donaciones e iniciativas productivas amigables con el medio ambiente (por ejemplo, gestión forestal, ecoturismo y etnoturismo, obras de restauración comunitaria, gestión del agua, prácticas agrosilvopastoriles, etc.).

El trabajo de la UICN en esta región cubre 7 países de América Central (Belice, Guatemala, Honduras, El Salvador, Nicaragua, Costa Rica y Panamá) junto con México, además del Caribe, que abarca estados insulares y territorios europeos de ultramar.

UICN puso a disposición de ACRXS el personal técnico para la supervisión técnica (elaboración de Términos de Referencia y revisión de productos) de la presente prestación de servicios enfocados en el diseño de la NAMA Caña de Azúcar y de su plan piloto.



Agradecimientos

El diseño de la NAMA Caña de Azúcar y su Manual Operativo son el resultado de la contribución, apoyo financiero, trabajo integrado en equipo y colaboración desarrollada de manera coordinada y articulada por diferentes instituciones y personas, que con su aporte y calificada participación hicieron posible su formulación y satisfactoria finalización en los términos previstos.

Por el apoyo, cooperación y ayuda recibida se agradece a las siguientes instituciones y personas:

Al equipo técnico de LAICA, FEDECAÑA, Cámara de Azucareros, productores independientes, ingenios y todos los representantes del sector cañero azucarero costarricense, por apoyar con empeño, convicción y decisión la instauración de un modelo de producción de caña de azúcar baja en emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI), contribuyendo decididamente con el bienestar del planeta, el país y la agroindustria azucarera nacional. El apoyo con ideas, datos, funcionarios expertos, recursos financieros y logísticos fue determinante.

Al Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG) por la guía, orientación y experiencia que a través de la Oficina Sectorial de Acciones Climáticas y Descarbonización (OSACD), bajo la dirección del Ing. Agr. Mauricio Chacón Navarro y colaboradores, contribuyó ostensiblemente a mejorar los resultados del proyecto por medio de su calificado acompañamiento técnico.

Al Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria (INTA), por el importante y decidido apoyo técnico prestado a través del Dr. Johnny Montenegro Ballesterero, integrante clave del Comité Técnico que aportó experiencia, conocimiento y diligencia para acompañar y materializar con éxito el proyecto.

A la Asociación Costa Rica por Siempre (ACRXS) por apoyar y auxiliar la gestión de fondos y alianzas que permitieron e hicieron posible el diseño de la NAMA Caña de azúcar y su Plan Piloto.

A la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN) por el apoyo prestado en la revisión técnica de los productos generados en el marco del diseño y formulación de la NAMA.

A todas las instituciones y personas que trabajaron de forma intensa y desinteresada para hacer posible concertar la iniciativa ambiental y productiva en el presente proyecto y su implementación.

A todos, ¡muchas gracias!





Aplicación y uso de este Manual

El presente Manual fue diseñado con el objeto de que los diferentes participantes de la iniciativa ambiental NAMA Caña de Azúcar prevista desarrollar por la agroindustria cañero-azucarera costarricense con el apoyo del Gobierno de la República y organismos internacionales colaboradores, cuenten con un instrumento didáctico de alta calidad que recoja, concentre y exponga de manera resumida los elementos técnicos fundamentales vinculados con la implementación y operación de dicho plan.

El documento fue diseñado y formulado por calificados profesionales expertos en los temas técnicos abordados, dotados además de una amplia y demostrada experiencia en el cultivo de la caña de azúcar. En la definición y desarrollo del contenido se consideraron e integraron por su trascendencia, las diferencias geográficas existentes en las seis regiones que producen caña destinada a la fabricación de azúcar en el país, lo que elevó la representatividad y validez de las mismas.

El contenido temático del Manual hace un completo y detallado desarrollo de los factores y elementos básicos y fundamentales que deben ser inexcusablemente considerados al momento de concebir, instalar y operar las medidas y acciones tecnológicas previsto implementar en el tiempo; así como también, se diserta respecto a los objetivos, compromiso y meta aspiracional fijados institucionalmente por el proyecto. Se comenta ampliamente sobre el Plan de acción y sus componentes, lo concerniente a gobernanza y administración y elementos de interés asociados con los mecanismos de investigación, innovación, desarrollo, fuentes de información y transferencia de la información dirigida al sector primario productor de caña.

Adicionalmente, se mencionan y analizan con gran detalle en el Manual aspectos relacionados con el procedimiento de elaboración y manejo de los planes de finca del plan piloto nacional, contemplando lo concerniente a las fincas y parcelas piloto constituidas con tecnología del agricultor y la propuesta tecnológica NAMA conteniendo las medidas técnicas seleccionadas para mitigar y reducir las emisiones de GEI. Asimismo, se aborda y cita el mecanismo empleado para la selección, implementación

y evaluación de las estrategias tecnológicas; incluyendo la caracterización y medición de los indicadores seleccionados para medir el impacto provocado sobre la emisión de gases. Tópicos vinculados con la eficiencia productiva-ambiental, el tema del balance de GEI del pilotaje nacional (t CO₂eq), la estrategia de escalamiento nacional, y como corolario, se mencionan y comentan las barreras posibles encontrar durante la fase de implementación de la iniciativa tecnológica en el campo.

En su estructura y desarrollo se ha procurado integrar e incorporar en el Manual elementos operativos muy prácticos explicados de manera sencilla y accesible para cualquier usuario, que favorezcan la comprensión y entendimiento de los asuntos técnicos involucrados con la implementación de la NAMA Caña de Azúcar en el campo.

Por todo lo anterior, puede asegurarse con mucha satisfacción que el presente Manual Descriptivo y Operativo del Piloto Nacional, puesto a disposición de los técnicos y productores nacionales, representa una valiosa herramienta de índole pragmático necesaria para conocer, dimensionar y entender la naturaleza de las actividades involucradas con la NAMA Caña de Azúcar nacional.





Contenido

Lista de acrónimos.....	i
Glosario.....	III
1. Introducción.....	1
1.1. Antecedentes.....	2
1.2. Retos del sector caña.....	3
2. NAMA Caña de Azúcar.....	6
2.1. Iniciativa Estatal y Sectorial.....	6
2.2. Objetivos del proyecto.....	9
2.2.1. General.....	9
2.2.2. Específicos.....	10
2.3. Participantes relevantes.....	10
2.4. Compromiso sectorial.....	12
2.5. Meta aspiracional.....	12
2.6. Plan de Acción.....	12
2.7. Proyección regional.....	13
2.8. Organización del Plan de Acción.....	13
2.9. Alcances y cobertura del Plan de Acción.....	13
2.10. Gobernanza y administración.....	14
2.11. Mecanismos de Investigación, Innovación y Desarrollo.....	16
2.12. Fuentes de información.....	19
2.13. Transferencia de la información.....	19
3. Procedimiento de elaboración de planes de finca del piloto nacional.....	21
3.1. Paso 1: Evaluación de la situación actual.....	22
3.1.1. Componente 1: Características generales de la finca.....	22
3.1.2. Componente 2: Visión y Misión de la familia.....	24
3.1.3. Componente 3: Situación actual de la finca.....	25
3.2. Paso 2: Diagnóstico de la finca.....	26
3.3. Paso 3: Selección de las estrategias.....	28



3.3.1. Componente 4: Situación deseada de la finca.....	28
3.3.2. Componente 5: Las acciones que se deben seguir para alcanzar la finca deseada.....	28
3.4. Paso 4: Implementación y Evaluación de las estrategias.....	30
3.4.1. Componente 6: Monitoreo y ajuste del plan.....	30
4. Fincas y Parcelas Piloto.....	32
4.1. Selección de los colaboradores.....	32
4.2. Ubicación de las fincas.....	34
4.3. Caracterización de recursos.....	37
4.4. Parcelas con Tecnología del Agricultor.....	37
4.5. Parcelas con Tecnología NAMA.....	37
4.6. Prácticas por validar.....	38
4.7. Duración y frecuencia de mediciones.....	41
5. Medición de los Indicadores.....	43
5.1. Área (ha).....	43
5.2. Productividad agrícola e industrial.....	44
5.2.1. Indicador: Productividad de caña (t/ha).....	44
5.2.2. Indicador: Concentración de sacarosa contenida en los tallos (kg/t).....	45
5.2.3. Indicador: Rendimiento de miel (melaza) (kg/t).....	46
5.2.4. Indicador: Productividad agroindustrial (t azúcar/ha).....	46
5.2.5. Indicador: Relación Caña/Azúcar (t/t).....	46
5.2.6. Indicador: Residuos agrícolas de cosecha (RAC) (t/ha).....	46
5.3. Costo de las Parcelas Tecnología Productor y NAMA.....	48
5.3.1. Indicador: Costo Parcelas con Tecnología del Productor (¢/ha).....	48
5.3.2. Indicador: Costo Parcelas con Tecnología NAMA (¢/ha).....	48
5.4. Rentabilidad de la actividad productiva.....	49
5.4.1. Indicador: Costo por unidad de área (¢/ha).....	49
5.4.2. Indicador: Costo unitario de producción de caña (¢/t).....	49
5.4.3. Indicador: Ingresos por unidad de área (¢/ha).....	49
5.4.4. Indicador: Rentabilidad agroproductiva.....	50



5.5. Resiliencia o capacidad de adaptación a los efectos del Cambio Climático.....	50
5.5.1. Indicador: Producción de biomasa (t/ha).....	50
5.5.2. Indicador: condición del suelo.....	51
5.6. Emisiones GEI (t CO ₂ eq).....	60
5.6.1. Indicador: Fertilizantes (t CO ₂ eq).....	60
5.6.2. Indicador: Abonos orgánicos y otras enmiendas orgánicas (t CO ₂ eq).....	64
5.6.3. Indicador: Enmiendas correctivas de acidez (t CO ₂ eq).....	66
5.6.4. Indicador: Hidrocarburos (t CO ₂ eq).....	68
6. Eficiencia Productiva-Ambiental.....	75
6.1. Indicador: Uso de nitrógeno (kg de N aplicado/t caña producida)	75
6.2. Indicador: Eficiencia productiva de emisión (t CO ₂ eq emitidas/ t caña producida).....	75
6.3. Indicador: Eficiencia de emisión (t CO ₂ eq/ t azúcar producida).....	76
6.4. Indicador: Eficiencia económica de emisión (t CO ₂ eq/ millón de colones en ingreso).....	76
7. Balance de GEI del pilotaje nacional (t CO₂eq).....	77
7.1. Cálculo de la captura de Carbono (t CO ₂ eq).....	77
7.2. Cálculo de las emisiones GEI (t CO ₂ eq).....	78
7.3. Cálculo del balance (t CO ₂ eq).....	79
8. Escalamiento.....	81
8.1. Escenarios de mitigación.....	81
8.2. GEI mitigados (t CO ₂ eq).....	82
8.3. Tiempos de cumplimiento.....	86
8.4. Medidas de mitigación.....	87
9. Barreras para la adopción tecnológica.....	93
10. Consideración Final.....	99
11. Literatura citada.....	101

Lista de acrónimos

Academia. Se refiere a las Universidades Públicas nacionales: UCR, UNA, ITCR, UNED y UTN

ACRXS: Asociación Costa Rica por Siempre

AFD: Agencia Francesa de Desarrollo

App: Aplicación de software diseñada para registrar datos de actividad

ATACORI: Asociación de Técnicos Azucareros de Costa Rica

BPA: Buenas Prácticas Agrícolas

CATIE: Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza

CAZ: Cámara de Azucareros de Costa Rica

CC: Cambio Climático

COP: Conferencia de las Partes

COS: Carbono Orgánico del Suelo

CPC: Cámara de Productores de Caña

CT: Programa de Cooperación Técnica

COTENAMA: Comité Técnico Sectorial de la NAMA

COTER: Comités Técnicos Regionales

DA: Datos de Actividad

DAP: Diámetro a la Altura del Pecho

DAp: Densidad Aparente del suelo

DCC: Dirección de Cambio Climático del MINAE

DIECA: Departamento de Investigación y Extensión de la Caña de Azúcar de LAICA

EARTH: Escuela de Agricultura Regional del Trópico Húmedo

DT: Departamento Técnico de LAICA

FAO: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (siglas en inglés)

FE: Factor de Emisión

FEDECAÑA: Federación de Cámaras de Productores de Caña de Costa Rica

FODA: Fortalezas, Oportunidades, Debilidades y Amenazas

FP: Fincas Piloto

GCR: Gobierno de Costa Rica

GEI: Gases de Efecto Invernadero

Gg: Gigagramo



GPS: Sistema de Posicionamiento Global
I + I: Investigación e Innovación
I + I + D: Mecanismo de Investigación, Innovación y Desarrollo
IICA: Instituto Interamericano de Ciencias Agropecuarias
IMN: Instituto Meteorológico Nacional, MINAE
INA: Instituto Nacional de Aprendizaje
INTA: Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria
IPCC: Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (siglas en inglés)
ITTA: Programa de Investigación, Innovación y Transferencia de Tecnología Agrícola
JAN: Junta de Alto Nivel
LAICA: Liga Agrícola Industrial de la Caña de Azúcar
LB: Línea Base.
MAG: Ministerio de Agricultura y Ganadería
MEAE: Ministerio de Asuntos Exteriores de Francia
MINAE: Ministerio de Ambiente y Energía
MIP: Manejo Integrado de Plagas
MOS: Materia Orgánica del suelo
MRV: Medición, Reporte y Verificación
NAMA: Acción de Mitigación Nacionalmente Apropriada (siglas en inglés)
NDC: Contribución Nacionalmente Determinada (siglas en inglés)
ODS: Objetivos de Desarrollo Sostenible
ORMACC: Oficina Regional para México, Centroamérica y el Caribe de la UICN
OSACD: Oficina Sectorial de Acciones Climáticas y Descarbonización
PA: Plan de Acción de la NAMA
PD: Parcela Demostrativa
PE: Plan de Escalamiento
PF: Plan de Finca

PI: Productores Independientes de caña
PLP: Plan Piloto de la NAMA
PND: Plan Nacional de Descarbonización 2018-2050
PP: Parcela Piloto
PRNT: Porcentaje Relativo de Neutralización Total en el caso de las Enmiendas
RAC: Residuos Agrícolas de Cosecha
SBD: Sistema de Banca para el Desarrollo
SBN: Sistema Bancario Nacional
SFE: Servicio Fitosanitario del Estado
SIG: Sistemas de Información Geográfica
SINAMECC: Sistema Nacional de Métrica para el Cambio Climático
TESCA: Tecnologías NAMA para el sector cañero-azucarero
UICN: Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza
UNA: Universidad Nacional de Heredia
UNFCCC: Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (siglas en inglés)
UTN: Universidad Técnica Nacional



Glosario

A continuación, se presenta un breve glosario con términos relevantes para la comprensión del documento. Otros pueden ser consultados en el documento *NAMA Caña de Azúcar Costa Rica*.

Cambio Climático: Es consecuencia de las emisiones de GEI que se originan de manera directa o indirecta a partir de las diversas actividades (antropogénicas) promovidas por el hombre, principalmente las derivadas de la quema de combustibles fósiles (hidrocarburos), del cambio de uso del suelo, de las actividades y labores implicadas en la producción agrícola (uso de enmiendas y fertilizantes nitrogenados) y ganadera; como también del manejo de los desechos agroindustriales y domésticos depositados en el medio. Dichos cambios alteran y modifican la composición global de la atmósfera y suman a la variabilidad natural del clima observada durante períodos de tiempo comparables (UNFCCC 1992; Chaves 2022abc)².

Carbono Orgánico del Suelo (COS): El carbono del suelo corresponde al carbono sólido almacenado en los suelos. Es el componente principal de la materia orgánica del suelo (MOS) que incluye además el carbono inorgánico bajo la forma de minerales de carbonato. El COS puede perderse en forma de CO₂ o CH₄ al ser emitido de nuevo a la atmósfera, como material erosionado o como carbono orgánico disuelto que desemboca en ríos y océanos. Como indicador de la salud del suelo, el COS es importante por sus contribuciones a la producción de alimentos, la mitigación y la adaptación al cambio climático; también al cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS). Un alto contenido en MOS proporciona nutrientes a las plantas y mejora la disponibilidad de agua, lo cual mejora la fertilidad del suelo y, en definitiva, mejora la productividad de los cultivos (Chaves 2020c).

Dato de Actividad: Datos sobre la magnitud de una actividad humana que tiene como resultado emisiones o absorciones durante un período de tiempo determinado.

Dióxido de Carbono (CO₂): El CO₂ es un compuesto de carbono y oxígeno que existe como gas incoloro en condiciones de temperatura y presión estándar. Está íntimamente relacionado con el efecto invernadero y el cambio climático. Este gas se produce de forma natural, y también como derivado de la combustión de los hidrocarburos fósiles y la biomasa, los cambios que acontecen en el uso de la tierra y otros procesos industriales. Es considerado como el principal gas de efecto invernadero antropogénico que afecta al equilibrio de radiación del planeta. Es el gas utilizado como referencia sobre el cual se miden los otros GEI y, por lo tanto, tiene un Potencial de calentamiento mundial de 1 (IPCC 2001)¹.

Dióxido de carbono equivalente (CO₂eq): Es una una medida utilizada para expresar y referenciar en términos (equivalentes) de CO₂ el nivel de calentamiento global que tienen los otros gases de efecto invernadero. Concentración de dióxido de carbono que podría causar el mismo grado de forzamiento radiactivo que una mezcla determinada de dióxido de carbono y otros Gases de Efecto Invernadero (GEI) (IPCC 2001)¹.

Eco-competitividad: Eficiencia económica que le permite (a un productor) competir con sus productos en los mercados, y al mismo tiempo generar menos emisiones de GEI por unidad de producto con relación a un escenario de referencia (MAG 2015).

Ecoeficiencia: Crear más bienes y servicios utilizando menos recursos mientras se reduce la polución y la generación de residuos.

Escalamiento: Fase posterior al pilotaje y consistente en un incremento significativo del área (hectáreas) intervenida con la tecnología sugerida y recomendada implementar por la NAMA. Se desarrolla en etapas sucesivas e incrementales en el tiempo. El abordaje e implementación de la mitigación en esta fase adquiere alcances comerciales sobre el área comprometida sectorialmente a intervenir.

Escenarios de Mitigación: Condición prevista resultado de la adopción o no adopción de tecnologías en una cadena de valor o eslabón de la misma que anticipa un resultado sobre la reducción, compensación o aumento de emisiones de GEI en su conjunto o en forma individual.

Factor de Emisión: Supone la cantidad de GEI emitidos por cada unidad del parámetro “dato de actividad” evaluado y medido. Estos factores varían en función de la actividad que se trate. A nivel nacional y para ser utilizados en los inventarios de GEI los FE son propuestos por el Instituto Meteorológico Nacional (IMN 2021).

Finca Piloto: Corresponde a la unidad territorial (finca) perteneciente a un productor de caña independiente o no (agricultor, ingenio), donde se realizarán las actividades de pilotaje vinculadas con el establecimiento de las Parcelas Piloto de la NAMA (PP).

Fuente de Emisión: Actividad antropogénica o ecosistémica vinculada a la emisión de GEI.



Gases de Efecto Invernadero (GEI): Son componentes gaseosos de la atmósfera, tanto de origen natural como los resultantes de la actividad humana, que absorben y emiten radiación infrarroja al medio; propiedad que ocasiona el efecto de calentamiento global (UNFCCC 1992; Chaves 2022abd)¹.

Gigagramos (Gg): Es un múltiplo decimal de la unidad base de masa del Sistema Internacional de Unidades (SI), el kilogramo. $1 \text{ Gg} = 10^9 \text{ g} = 10^6 \text{ kg}$. Un gigagramo equivale a 1.000 toneladas y la unidad es empleada para expresar las emisiones de GEI.

Línea Base: Se refiere a la tendencia futura de las emisiones GEI, basada en el comportamiento histórico de las mismas, bajo la suposición de que la actividad seguirá un comportamiento como el observado y sin ninguna intervención dirigida y orientada hacia la reducción de las emisiones GEI.

Mitigación: : Intervención humana para reducir las fuentes o aumentar los sumideros de GEI.

Óxido Nitroso (N₂O): Uno de los seis gases de efecto invernadero (GEI) que se deben reducir en el marco del Protocolo de Kyoto. La fuente antropógena principal de N₂O es la agricultura (la gestión del suelo y del estiércol), pero hay también aportaciones importantes provenientes del tratamiento de aguas residuales, de la quema de combustibles fósiles y de los procesos industriales químicos. El N₂O 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

Parcela Piloto: Es la sección territorial de la Finca Piloto (FP) que será intervenida y donde se establecerán para fines de validación las parcelas con tecnología NAMA la cual será comparada con la tecnología utilizada por el agricultor. Puede también interpretarse por su naturaleza como sinónimo de Parcela Demostrativa (PD). Es donde se realizará la fase inicial de prueba y validación de las tecnologías que se considera aportarán ventajas en cuanto a

incremento de la productividad agroindustrial y con potencial de reducción de las emisiones de GEI.

Plan Piloto: Programa de actividades y acciones previstas implementar y realizar de manera sistemática y articulada, orientadas a cumplir con la primera fase de la NAMA correspondiente a la identificación de las Fincas Piloto (FP) y el establecimiento de las Parcelas Piloto (PP).

Tecnologías NAMA para el sector cañero-azucarero (TESCA): La misma va orientada a atender de forma integral y simultánea según localidad y necesidad, varios asuntos genéricos puntuales de particular relevancia para promover la mitigación de GEI e incrementar los índices de productividad agroindustrial; entre los que se mencionan las siguientes 10 áreas genéricas de operación técnica: 1) Siembra y/o renovación de plantaciones agotadas e improductivas; 2) Ajustar, adecuar y optimizar las labores de mecanización de plantaciones; 3) Promover el uso de variedades de caña de azúcar recomendadas; 4) Inducir la producción y uso de semilla mejorada de alta calidad y pureza genética; 5) Adecuar y optimizar la nutrición y fertilización del cultivo, en particular lo concerniente al uso del nitrógeno; 6) Realizar un manejo agronómico conveniente y oportuno de las plantaciones; 7) Mejorar el sistema de cosecha (corta, carga y transporte) de las plantaciones regulando el uso de combustibles fósiles; 8) Adecuar el manejo de los residuos agrícolas (biomásicos) de cosecha (RAC); 9) Establecimiento de especies vegetales (cercas vivas, maderables, frutales) en áreas desprotegidas y 10) Elevar de manera significativa, rentable y sostenida la productividad agroindustrial del cultivo. El éxito de estas medidas estratégicas requiere contar con una buena planificación, recursos, capacidad de ejecución y personal operativo vinculado (técnicos y productores) motivado y con buen entrenamiento.

^{1/} <https://www.ipcc.ch/pdf/glossary/tar-ipcc-terms-sp.pdf>

^{2/} <http://unfccc.int/resource/docs/convkp/convsp.pdf>





1. Introducción

El Cambio Climático (CC) viene adquiriendo cada vez mayor relevancia en la comunidad internacional, debido a los impactos de graves consecuencias, sobre poblaciones, infraestructura y actividades productivas, entre ellas la agricultura, que en forma directa o indirecta ven afectados sus intereses por los fenómenos del clima de cada vez mayor intensidad y frecuencia.

Como se ha demostrado, el CC es consecuencia de las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) que se originan principalmente a partir de las diversas actividades promovidas por el hombre; principalmente las derivadas de la quema de combustibles fósiles (hidrocarburos), del cambio de uso del suelo, de las actividades y labores implicadas en la producción agrícola (uso de enmiendas y fertilizantes nitrogenados) y ganadera (digestión entérica) y del manejo de los desechos agroindustriales y domésticos depositados en el medio.

Esta realidad, sumada a la necesidad de ajustar los sistemas de producción tradicional y los productos a las nuevas exigencias que con cada vez mayor rigor imponen mercados de destino final, obliga a moverse en esa dirección para mantenerse comercialmente vigente y competitivo. Los nuevos retos, requerimientos y desafíos por aplicar no son solo ambientales, lo son comerciales, contenidas en los principios de la ecoeficiencia y la eco-competitividad (Chaves 2022f).

Esta coyuntura mediática y de futuro hacen necesario avanzar de inmediato en el desarrollo, e implementación de procesos tecnológicos innovadores orientados a favorecer la descarbonización del sector cañero-azucarero nacional, lo cual implica, superar el enfoque tradicional en que ha operado la agroindustria por muchos años, reconfigurando el sistema, las actividades y las labores habituales de manejo de plantaciones. Para dicho fin, con visión de futuro y mucho compromiso, el sector azucarero se compromete a la implementación de una novedosa iniciativa ambiental en esa dirección bajo la figura de NAMA.

La NAMA Caña de Azúcar materializa el compromiso sectorial e institucional que el sector azucarero asume en concordancia con lo señalado y solicitado por el Plan Nacional de Descarbonización de la economía costarricense, dirigido a mitigar y reducir la emisión de GEI a la atmósfera; para ello promueve diseñar y construir un plan operativo conteniendo actividades y acciones estratégicas con ese objetivo.



Se entiende por “estrategias de mitigación” al diseño, implementación y aplicación de políticas dirigidas a mitigar las emisiones de GEI, reduciendo emisiones y mejorando los sumideros de carbono mediante el análisis de las causas que los generan; así como diseñar las medidas de solución pertinentes viables y factibles de ejecutar. El incremento de la productividad y sus indicadores agroindustriales se agregan como una meta complementaria por alcanzar, como parte de la mejora integral que el esfuerzo sectorial, institucional y personal implica de parte de todos los agricultores involucrados.

La presente iniciativa es muestra fiel de la intención y decisión del sector cañero-azucarero costarricense de participar e integrarse al esfuerzo nacional y mundial por buscar una mejora sostenible en la calidad de vida.

1.1. Antecedentes

La preocupación por el ambiente y su relación con el bienestar y el futuro de la humanidad es un asunto de incuestionable relevancia y de gran actualidad para todos, no solo para los Gobiernos y organismos especializados responsables de su atención; lo que sitúa al sector agropecuario y particularmente a la agroindustria cañero-azucarera nacional de frente al grave problema que significa e implica el CC.

El reto que tiene planteado el país en materia de calentamiento atmosférico provocado por la emisión de gases es inmenso, como lo ratifica el Plan Nacional de Descarbonización (PND) (Costa Rica 2019) al señalar con preocupación, que *“Las emisiones de gases de invernadero en Costa Rica van en aumento. Se ha estimado que, de no tomar medidas, las emisiones de Costa Rica aumentarán en un 2.4% anual: habrán crecido 60% entre 2015 y 2030 y podrían llegar a subir 132% en 2050 para alcanzar un nivel de 29.6 millones de toneladas de CO₂ equivalente. Según los datos oficiales del inventario nacional de emisiones de gases de efecto de invernadero y absorción de carbono, en 2012 las emisiones fueron 11.2 millones de toneladas de CO₂ equivalente (comparado con 9.6 millones en 2010 y 7.6 millones en 2005).”*

Como apuntara Chaves (2022b) en torno al tema, *“Costa Rica es como está demostrado, una nación conformada por una sociedad altamente consciente y sensibilizada con respecto a los temas ambientales, dotada con una organización e institucionalidad que actúa en consecuencia. Entre sus ejemplares logros de amplio reconocimiento mundial, el país ha conseguido avances ambientales importantes en décadas previas, entre las cuales se cuenta con una red eléctrica en más de un 95% libre de emisiones y muy bajas tasas de deforestación con una cobertura boscosa que supera el 52% del territorio nacional. Una de las acciones estatales más recientes operadas en esa dirección es la decisión del Gobierno de la República de impulsar la estrategia ambiental conocida como Plan Nacional de Descarbonización 2018-2050, en la cual*

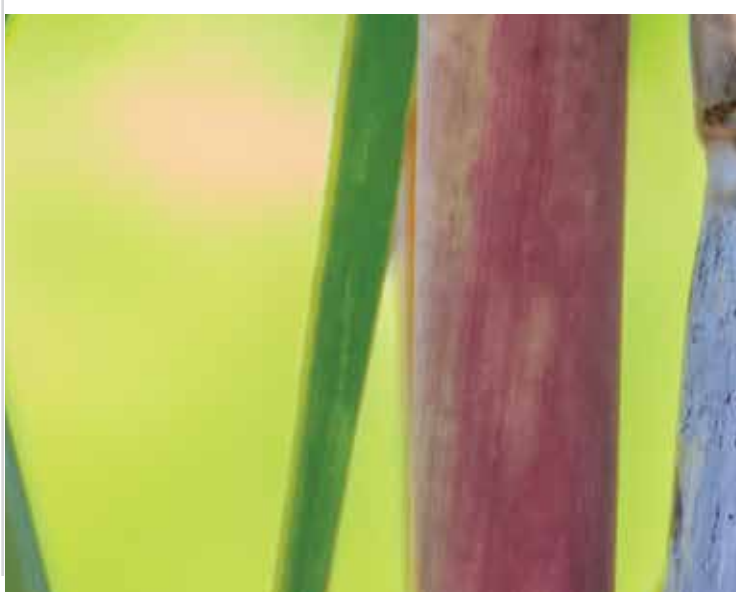
como se comentará en adelante está integrado el sector agropecuario y en lo específico el cultivo de la caña de azúcar.”

Es en este ámbito que se plantea y sustenta el esfuerzo y la gestión institucional promovida por el sector azucarero costarricense, para contribuir con la iniciativa nacional y mundial orientada a contrarrestar el avance y los impactos provocados por el CC. Las acciones previstas desarrollar se complementan con los logros y reconocimientos que el sector azucarero tiene consolidados en materia socioambiental, como son:

- a. Control genético de enfermedades mediante sustitución de variedades sensibles por clones tolerantes, lo que elimina el uso de fungicidas y bactericidas químicos.
- b. Uso de semilla mejorada de alta pureza genética y calidad reproductiva.
- c. Manejo Integrado de Plagas (MIP) mediante uso masivo y generalizado de parasitoides (*Cotesia flavipes*) y hongos entomopatógenos (*Metarhizium anisopiae*, *Beauveria bassiana* y *Lecanicillium spp*); además de otros agentes en evaluación, evolución y crecimiento.
- d. Empleo reducido (relativo) de agroquímicos con relación a otras actividades agroproductivas.
- e. Manejo biológico de las plantaciones basado en potenciales anatómicos, genéticos y ecofisiológicos naturales (planta y entorno) (Chaves 2020b).
- f. Aprovechamiento de los residuos agroindustriales (biomásicos, cachaza, cenizas, bagazo, vinazas, mieles).
- g. Empleo de materiales orgánicos en la nutrición y fertilización de plantaciones.
- h. Realización de prácticas de conservación de recursos naturales (edáficos, hídricos y biodiversidad).
- i. Programas sociales con enfoque hacia la sostenibilidad.
- j. Eliminación del trabajo infantil.
- k. Alianzas público-privadas en materias socioambientales.
- l. Libre asociación.

1.2. Retos del sector caña

Los retos tecnológicos que la agroindustria cañero-azucarera debe afrontar para



superar los obstáculos y limitantes prevalecientes son numerosos, entre los que están los siguientes:

- a. Asegurar la presencia, mejoramiento y estabilidad de los pequeños agricultores.
- b. Incrementar significativamente y de manera sostenida los índices de productividad agrícola e industrial a nivel nacional.
- c. Certificar estabilidad en materia fitosanitaria.
- d. Contrarrestar y superar el proceso sistemático de degradación que sufren los suelos sembrados con caña de azúcar.
- e. Lograr la renovación de plantaciones productivamente agotadas.
- f. Sustituir variedades viejas por nuevos clones adaptables dotados de mayor resiliencia climática y alta productividad agrícola e industrial.
- g. Difundir, ampliar y consolidar la siembra de variedades nacionales sigla LAICA.
- h. Mecanizar las labores de cosecha de plantaciones, particularmente las desarrolladas en condiciones especiales (relieve quebrado, unidades pequeñas, corta en verde, etc.).
- i. Prolongar el uso (vida) comercial y competitivo de las plantaciones.
- j. Promover e incorporar la Agricultura 4.0 mediante la transformación digital y digitalización de los procesos (agricultura de precisión).
- k. Mejorar la calidad industrial de la materia prima producida y procesada.
- l. Consolidar el manejo sostenible y la mitigación de GEI en plantaciones comerciales.
- m. Elevar el grado de adopción e innovación tecnológica en el campo.
- n. Reducir los costos de producción relacionados.
- o. Maximizar la rentabilidad de la empresa cañera.
- p. Favorecer la integración y el cambio generacional incorporando juventud rural.

2. NAMA Caña de Azúcar

El concepto fue introducido en la Conferencia de las Partes (COP 13 por sus siglas en inglés) realizada en Bali, Indonesia, en diciembre del año 2007. La NAMA es un instrumento gubernamental y una estrategia sectorial-institucional por medio de la cual se pueden incorporar medidas ambientales destinadas a operar los cambios y ajustes necesarios implementar, para cumplir con los compromisos ambientales orientados a reducir y/o mitigar los GEI y contrarrestar con ello el CC.

2.1. Iniciativa Estatal y Sectorial

La intención del Estado orientada a procurar la descarbonización de la economía nacional mediante la reducción de emisiones GEI, estableció un compromiso al sector agropecuario para impulsar la descarbonización de forma progresiva y dar con ello, cumplimiento a las metas nacionales fijadas con base en los acuerdos adoptados en la COP 21 celebrada en diciembre 2015 en París, Francia, y ratificado mediante Decreto Legislativo N° 9405 del 4 de octubre del 2016.

Los mismos son concordantes con los acuerdos más recientes adoptados en la COP 26 efectuada en Glasgow, Escocia, en noviembre 2021. Como parte del Plan Nacional de Descarbonización de Costa Rica 2018-2050 (Costa Rica 2019), dentro del objetivo de “*Fomento de sistemas agroalimentarios altamente eficientes que generen bienes de exportación y consumo local bajos en carbono*”, se contempló el apoyo a la agrocadena de la caña de azúcar para el diseño e implementación de su propia NAMA.

Entre noviembre del 2020 y enero del 2021 se conformó un equipo técnico integrado por especialistas de LAICA-DIECA, FEDECAÑA, MAG e INTA, con el apoyo y facilitación de la empresa consultora GESTARSE, para desarrollar un proceso de consulta a productores, técnicos y representantes del sector, con el propósito de elaborar los “*Lineamientos para el Diseño de NAMA Caña de Azúcar (Nota Conceptual)*”, los cuales fueron aprobados por el MAG/MINAE a inicios del año 2021.

Esa Nota Conceptual definió y estableció de manera preliminar los mecanismos habilitantes para apoyar las medidas priorizadas sobre investigación y desarrollo tecnológico, capacitación y transferencia, intercambio de experiencias y financiamiento. También consideró el diseño e implementación de la NAMA Caña de Azúcar, mediante un proceso participativo de alcance y cobertura nacional, que contempla un componente de diseño técnico y otro operacional, la identificación

inicial de los recursos financieros necesarios para poner en marcha el plan. Considera, asimismo, la definición de los elementos básicos para el diseño del Sistema de Monitoreo, Reporte y Verificación (Sistema MRV) en lo concerniente a las principales Fuentes de Emisión de la agro cadena, Factores de Emisión y secuestro utilizados; y una propuesta para la administración y gobernanza del sistema.

Luego de adoptar los acuerdos y acoplamiento pertinentes a lo interno del sector cañero-azucarero en consonancia y alianza con el MAG y MINAE, se conformó un equipo de trabajo de muy alto nivel técnico-profesional que inicia labores en octubre del 2021 para proceder con el diseño de la NAMA Caña de Azúcar, primera de esta naturaleza realizada en el mundo.

La NAMA hace un planteamiento básico y establece los criterios principales a considerar en la operación de una primera etapa consistente en la implementación de un Plan Piloto (PP) seguido de un Plan de Escalamiento (PE) de ejecución sistemática de las medidas de mitigación previstas implementar en el tiempo fijado para satisfacer la meta sectorial prevista y acordada (2049-50). El diseño y formulación de la NAMA implicó actuar en varias fases articuladas y sucesivas de trabajo, como denota la Figura 1, en las cuales se desarrollaron las actividades programadas.



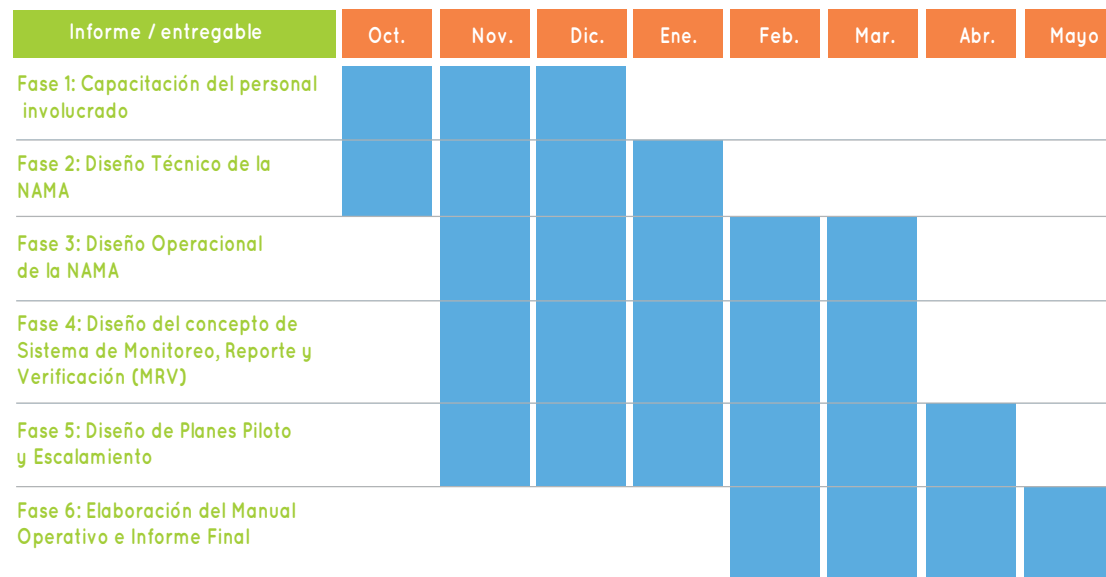


Figura 1.

Fases técnicas y tiempos implicados en la formulación de la NAMA Caña de Azúcar. Periodo 2021-2022.

Entre las actividades desarrolladas estuvieron:

- Conformación y capacitación de los equipos de trabajo.
- Identificar, recabar información y contextualizar los elementos básicos tipificantes de la agroindustria.
- Definición y estimación de la Línea Base (LB) proyectada entre 2010 y 2050.
- Recolección, organización e interpretación de Datos de Actividad mediante encuesta sectorial.
- Identificación de las Fuentes y Factores de Emisión de GEI.
- Estimación de la cantidad de GEI emitida (GgCO₂eq).
- Propuesta, concertación y diseño de Escenarios (3) de Mitigación.
- Formulación del Plan Piloto.

- Formulación del Plan de Escalamiento sistemático (2022-2050).
- Diseño de los Sistemas de MRV y Gobernanza.
- Estimación y proyección de costos operativos y de inversión implicados en la implementación y el desarrollo de la NAMA.
- Propuesta de financiamiento identificando fuentes potenciales para la implementación y ejecución del proyecto (Chaves 2022c).

El alcance de aplicación de la NAMA es solo para su fase primaria de producción agrícola y no industrial de procesamiento, fabricación y mercadeo. Asimismo, buscando mejores inferencias y aplicabilidad de las medidas y estrategias de mitigación acordadas y previsto implementar, las estimaciones se realizaron independientemente para cada una de las seis regiones productoras de caña del país (LAICA 1998, 2000); incorporando además de su correspondiente integración nacional.

Con el objeto de evidenciar las estrategias y los asuntos institucionales, técnicos y operativos más importantes vinculados con la iniciativa ambiental próxima a implementar, se presenta el **Manual Descriptivo y Operativo del Piloto Nacional NAMA Caña de Azúcar**, como guía para lo que corresponde ejecutar próximamente.

2.2. Objetivos del proyecto

2.2.1. General

Implementar acciones tecnológicas estratégicas que le permitan a la agroindustria azucarera costarricense aspirar a incrementar sus niveles de productividad agrícola en un marco de ecoeficiencia ambiental, rentabilidad económica y beneficio social; incorporando medidas que contribuyan a la mitigación de los Gases de Efecto Invernadero (GEI), adaptando los diferentes sistemas agro productivos prevalecientes en el país, a las complejas condiciones impuestas por el cambio climático (Vallejo *et al* 2021).

2.2.2. Específicos

- a. Construir capacidades orientadas a mejorar la productividad agrícola e industrial del cultivo de la caña de azúcar con enfoque agroclimático, en un marco de sostenibilidad, ecoeficiencia y eco-competitividad, considerando los diferentes entornos y sistemas de producción existentes.
- b. Establecer metas ambientales de la agro cadena de caña de azúcar para la mitigación de GEI.
- c. Incrementar la resiliencia de la agrocadena de la caña de azúcar ante el cambio climático.
- d. Implementar y operar Buenas Prácticas Agrícolas (BPA) y acciones tecnológicas estratégicas no degradantes que mejoren la productividad, reduzcan costos, incrementen rentabilidad, contrarresten el CC y los impactos ambientales.
- e. Elevar la eficiencia de los procesos productivos, reduciendo costos y aumentando la rentabilidad.
- f. Trabajar en la generación de co-beneficios que favorezcan a la familia rural productora de caña de azúcar.
- g. Generar y habilitar un nuevo producto comercial diferenciado para incursionar en el mercado mundial como “azúcar bajo en emisiones”.

2.3. Participantes relevantes

En la agro cadena de la caña de azúcar participan una gran cantidad y diversidad de actores públicos y privados, que contribuyen a su desarrollo desde distintas perspectivas. En el sector privado destaca la Federación de Cámaras de Productores de Caña (FEDECAÑA), como responsable de integrar y representar al sector productor cañero (fase primaria), la cual está integrada por seis diferentes Asociaciones: Cámara de Productores de Caña del Atlántico (Turrialba), Cámara de Productores de Caña del Pacífico (Grecia), Cámara de Productores de Caña de San Carlos, Cámara de Productores de Caña de Puntarenas, Cámara de Productores de Caña de Guanacaste y la Cámara de Productores de Caña de la Zona Sur (San Isidro El General).

En la zafra 2020-2021, LAICA contabilizó un total de 5.188 Productores Independientes de caña que efectivamente entregaron materia prima en ese periodo distribuidos por región como sigue: 2.227 (42,9%) en Zona Sur; 1.111 (21,4%) en Zona Norte; 807 (15,6%) en Valle Central; 753 (14,5%) en Guanacaste; 248 (4,8%) en Turrialba y 42 (0,8%) en Puntarenas. El número de productores registrados en esa zafra en nómina oficial fue de 6.089.

A nivel industrial, actualmente se encuentran vigentes y en operación 11 ingenios azucareros que integran la Cámara de Azucareros (CAZ), los cuales también producen caña. La organización tiene entre sus principales objetivos impulsar el progreso de la industria y el bienestar de sus colaboradores impulsando iniciativas que contribuyan a su desarrollo.

En el año 1982 LAICA creó el Departamento de Investigación y Extensión de la Caña de Azúcar (DIECA), como unidad técnica de carácter científico y tecnológico, financiado con recursos propios del sector cañero azucarero costarricense, sin fines de lucro, que brinda servicio a todos los productores y fabricantes de azúcar organizados y representados en LAICA. Dicho Departamento concentra, coordina y ejecuta la mayoría de las actividades que en materia de Investigación y transferencia de tecnología (ITTA) se realizan en Costa Rica, incluyendo, entre otras, la incidencia del CC en el cultivo de la caña.

Las actividades que DIECA desarrolla se ubican principalmente en el área agrícola, aunque también involucra a los ingenios. El Departamento Técnico (DT), instancia de LAICA, también contribuye con personal especializado en el área industrial a la causa tecnológica. Importante indicar que los Ingenios y las Cámaras de Productores aportan adicionalmente personal técnico-profesional de apoyo al desarrollo tecnológico.

En el sector público destaca también la participación del MAG como ente de apoyo técnico oficial del sector agropecuario, y como institución responsable de colaborar con la adecuada implementación de la NAMA Caña de Azúcar. El INTA desarrolla ITTA conjunta con LAICA, incluyendo temas climáticos asociados a la producción de caña de azúcar. El MINAE, por medio de la Dirección de Cambio Climático (DCC), tiene la labor de coordinar, gestionar y formular la política pública en materia de CC; en este caso apoya la implementación de la NAMA Caña de Azúcar, asegurando que las respectivas actividades de mitigación y adaptación estén alineadas con los instrumentos nacionales de planificación en gestión climática.

2.4. Compromiso sectorial

La NAMA Caña de Azúcar materializa el compromiso institucional que el sector azucarero asume en concordancia con lo señalado por el PND dirigidas a mitigar y reducir la emisión de GEI, para ello diseña un plan operativo conteniendo actividades y acciones estratégicas con ese objetivo

2.5. Meta aspiracional

La NAMA Caña de Azúcar tiene como meta aspiracional establecer a partir del año 2023 como fase inicial un Plan Piloto (PLP) con al menos 70 parcelas comparativas, correspondientes a 35 unidades productivas distribuidas en las seis regiones agrícolas oficiales, en las cuales se desarrollarán por un periodo máximo de 5 años experiencias piloto para su evaluación y posterior transferencia tecnológica. En dichas Fincas Piloto (FP) se validarán las estrategias, tecnologías y mecanismos propuestos para mitigar los GEI.

Luego del tercer año se inicia una etapa incremental de Escalamiento en fincas comerciales hasta lograr en el año 2032 cubrir el 75% del área nacional sembrada (60.668 ha) actualmente con caña destinada a la fabricación de azúcar, estimada en 45.501 hectáreas. Se espera alcanzar un grado de mitigación importante (GgCO₂eq) consecuente con cada uno de los tres Escenarios propuestos como se comentará más adelante. El proyecto NAMA esta visualizado iniciar pragmáticamente con la implementación de medidas en el 2023, alcanzar el área comprometida (75%) en el 2032 y finalizar en el año 2050.

2.6. Plan de Acción

Para cumplir a cabalidad con las metas, aspiraciones y objetivos planteados por la NAMA, se diseñó y formuló de manera participativa e incluyente un Plan de Acción (PA) conformado por ejes transversales, tácticas, medidas y actividades estratégicas orientadas en varias áreas de gestión técnico institucional, donde deberán desarrollarse estratégicamente las acciones previstas implementar para superar las barreras existentes.

2.7. Proyección regional

Con el objeto de lograr una mayor especificidad, objetividad y efectividad en la implementación de las medidas estratégicas contenidas en el PA, las mismas se concibieron y definieron de manera particular para cada una de las seis regiones productoras de caña de azúcar del país; conjuntándolas luego en una visión nacional integrada.

2.8. Organización del Plan de Acción

La organización y operación del PA prevé una actividad regional basada en las características y condiciones particulares de cada región, zona y localidad en lo concerniente a emisiones GEI, bajo una concepción nacional integrada; lo que invoca y provoca tener que desarrollar acciones específicas concordantes con las necesidades del lugar.

2.9. Alcances y cobertura del Plan de Acción

Las áreas particulares de terreno (ha) según región destinadas participar e intervenir con las medidas previstas desarrollar con el objeto de contribuir a la meta de mitigación establecida (75% del área sembrada), deberán fijarse con base en criterios, como: 1) interés genuino del productor (agricultor, Ingenio) de sumarse a la iniciativa ambiental, 2) facilidades e incentivos proveídos por el sistema nacional e internacional vinculado, 3) disponibilidad de crédito y recursos logísticos para inducir los cambios necesarios implementar y 4) grado de prioridad, interés y seguimiento prestado por la organización cañero-azucarera y las instancias gubernamentales asociadas a la iniciativa promovida.

2.10. Gobernanza y administración

Los actores involucrados en la cadena agroindustrial apoyados por instituciones públicas y privadas debidamente priorizadas conforman la estructura de gobernanza de la NAMA, la cual será responsable de liderar y orientar la gestión de transformación sectorial implicada.

Para ello desarrollara de manera progresiva y ordenada todas las acciones necesarias y previstas implementar, ejecutar y fiscalizar para lograr el cumplimiento de las metas y objetivos finales; siendo estructurada como se indica en la Figura 2. Oportunamente se formularán los protocolos de conformación y operación respectivos de cada unidad de gobernanza y administración.

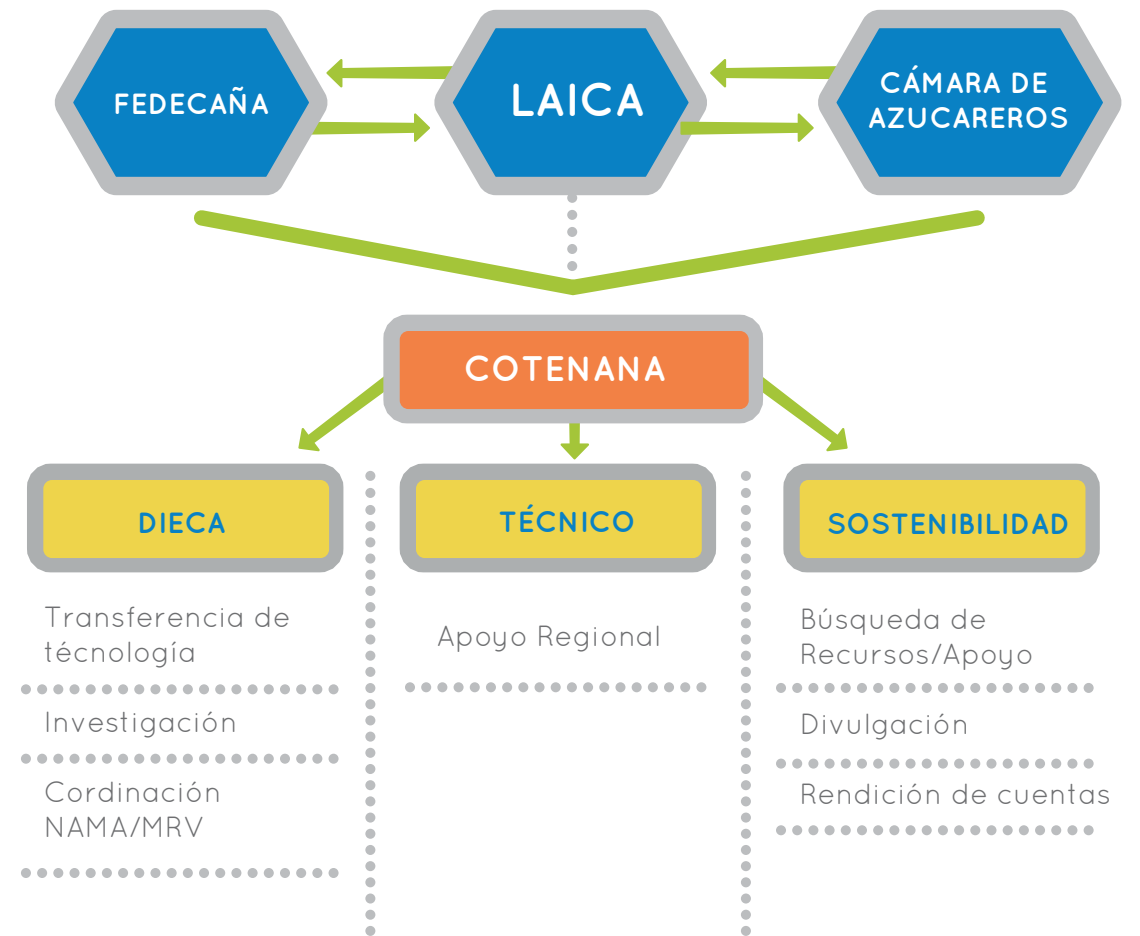


Figura 2.

Estructura de la Gobernanza de la NAMA.

En la gobernanza del sistema participarán las organizaciones públicas y privadas que tienen vinculación directa con las decisiones de carácter estratégico y político que deberán adoptarse en materia administrativa, financiera y tecnológica del CC; también las organizaciones de productores responsables de la implementación de medidas y acciones en las regiones productoras de caña.

A nivel sectorial se contará con una Junta de Alto Nivel (JAN) integrada por representantes de los órganos superiores de decisión de LAICA, FEDECAÑA y Cámara de Azucareros; la cual mantendrá un estrecho vínculo con autoridades del MAG y la DCC del MINAE como instancias gubernamentales responsables del esfuerzo nacio-

nal. LAICA, como entidad rectora y reguladora del sector cañero azucarero de Costa Rica, será la principal responsable de liderar, coordinar y fiscalizar la correcta implementación de la NAMA Caña de Azúcar.

Para ello contará con un Comité Técnico denominado COTENAMA integrado por sus unidades DIECA y los Departamentos Técnico y de Sostenibilidad, a los cuales se integrarán cuando sea requerido representantes de los ingenios participantes y FEDECAÑA. DIECA será la unidad responsable y líder de la coordinación e implementación de las acciones tecnológicas estratégicas de Investigación, Innovación, Transferencia de Tecnología y Asistencia Técnica en el campo. El COTENAMA será nombrado por la Junta Directiva de LAICA y conformado por profesionales de amplia experiencia, con responsabilidades en el área agrícola y/o ambiental propia de cada ingenio; así como un representante calificado por cada Cámara de Productores de Caña de las seis regiones oficiales. La función principal de esa instancia es recoger, integrar, analizar y avalar o ajustar los productos que generen los Comités Técnicos Regionales (COTER) que deberán conformarse en cada región productora (6 en total). Será un órgano técnico orientador y fiscalizador para implementar, consultar y validar las acciones que conlleven el NAMA en su etapa de pilotaje y escalonamiento.

A nivel de campo se contará con Comités Técnicos Regionales (COTER) donde participan los especialistas de DIECA (coordinador) y el Departamento Técnico de LAICA ubicados en cada región cañera; así como también Productores Independientes nombrados por la Cámara y representantes de Ingenios del lugar. Se contará adicionalmente con un representante local del MAG y el INTA.

2.11. Mecanismos de Investigación, Innovación y Desarrollo

El Mecanismo de Investigación, Innovación y Desarrollo (I+I+D) opera con independencia respecto a las actividades, regiones e instituciones participantes, aunque genéricamente forma parte de un único proceso continuo y sistemático

Las demandas y necesidades de ITTA propias y particulares de cada sistema agroproductivo y región requeridas para incrementar productividad y definir las acciones estratégicas de mitigación de GEI, serán recabadas de manera participativa e inclusiva, integradas, organizadas, priorizadas y definidas por cada COTER, dando así lugar al Programa Regional de Investigación, Innovación y Desarrollo, como indican las Figuras 3 y 4. A partir del mismo se definirán las

necesidades de recursos y financiamiento para su implementación por medio de DIECA como organismo líder en coordinación con las otras instancias de apoyo.

La Figura 3 expone el Mecanismo de Investigación e Innovación (I + I) operado, el cual una vez identificadas, recolectadas y priorizadas las necesidades y demandas da lugar al programa de II por desarrollar en sus diferentes áreas de gestión técnica vinculadas con clima, suelos, cultivo, nutrición, genética y otras áreas afines. La participación de DIECA, Ingenios, INTA, IMN, CATIE, Academia, empresas comerciales y organismos internacionales especializados resulta en este caso fundamental y determinante.

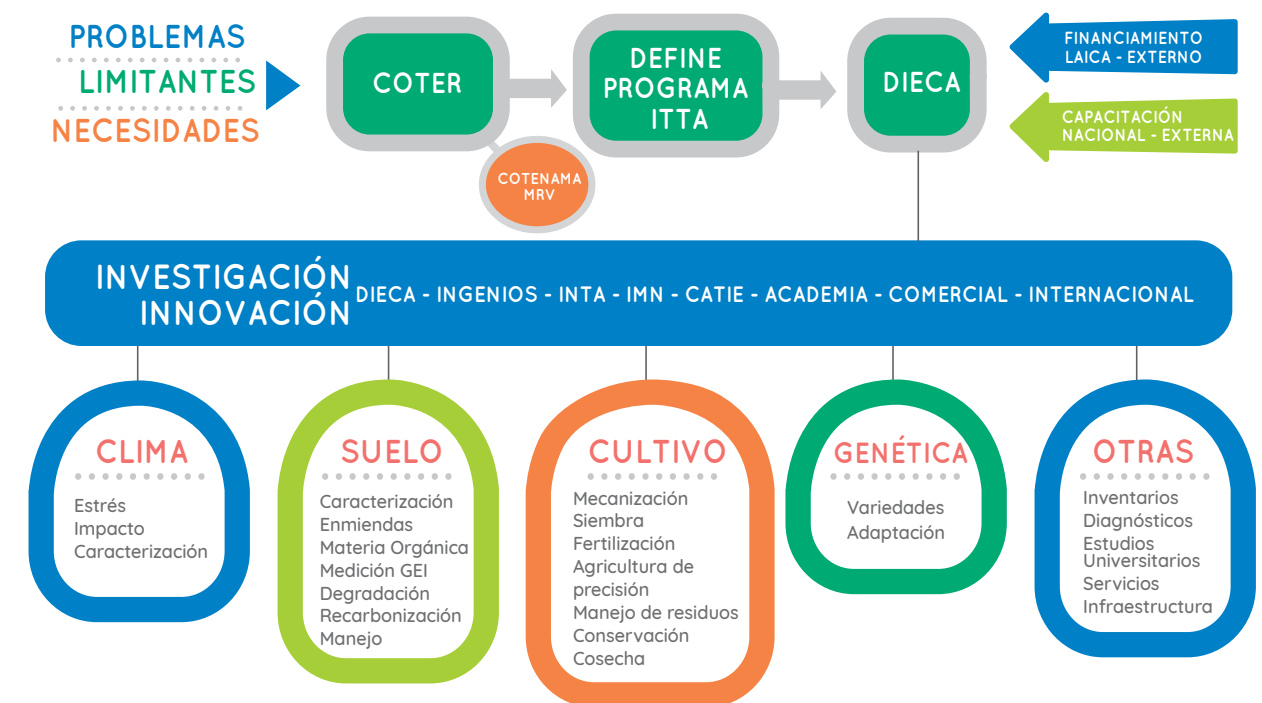


Figura 3.

Mecanismo de Investigación e Innovación.

El Mecanismo de Desarrollo (Figura 4) presenta por su parte la forma como se identifican, canalizan y priorizan a partir de los COTER las demandas y necesidades de información, capacitación, adiestramiento de productores y técnicos, establecimiento y seguimiento de las FP y las PP, la prestación de servicios de asistencia técnica especializada, el apoyo con servicios tecnológicos, el establecimiento y operación de una plataforma de información y registro con módulos.

Este mecanismo identifica como posibles colaboradores a DIECA, LAICA, FEDECAÑA, Cámaras, Cooperativas, Ingenios, INTA, MAG, SFE, INA, IMN, ATACORI, Academia (UCR, UNA, ITCR, UTN, EARTH), CATIE, IICA, SBD, empresas agrocomerciales y las internacionales vinculadas con la agroindustria, entre otras.

2.12. Fuentes de información

Como fuentes generadoras y proveedoras de la información necesaria para diseñar y construir la NAMA Caña de Azúcar y asegurar su implementación están LAICA, FEDECAÑA y Cámara de Azucareros como organismos rectores del sector; también MAG, DCC/MINAE, INTA, IMN, entre otros, en el área pública. Los Datos de Actividad requeridos para establecer y operar las estrategias y medidas de mitigación en el campo, así como habilitar el MRV, serán obtenidas de los Productores Independientes y los Ingenios que cultivan caña de azúcar en el país.

2.13. Transferencia de la información

El diseño e implementación de la NAMA Caña de Azúcar requiere de la formulación de un Plan de Gestión de Comunicación de la estructura de Gobernanza, que debe contemplar y potenciar los mecanismos de comunicación necesarios desarrollar entre todas las organizaciones participantes y que conforman la estructura de Gobernanza propuesta por la NAMA. LAICA, FEDECAÑA y la CAZ son las organizaciones líderes por su vinculación y servicio dedicado a los principales actores de la agro cadena de caña a nivel nacional en su fase primaria (agrícola).

Deberá diseñarse un “Protocolo de Comunicación” que incluya: formatos de reportes, minutas, agendas, entre otros, para mantener un orden en la sistematización de la información durante el proceso de implementación, ejecución y monitoreo (MRV); como también en la elaboración de los informes requeridos por los distintos organismos y públicos de interés comprometidos.

Dicho Protocolo debe identificar los mecanismos, herramientas y técnicas de comunicación que serán utilizadas, los sistemas, modelos y métodos de comunicación sugeridos y su frecuencia, la tecnología de comunicación propuesta, las habilidades interpersonales y de equipo requeridas para una comunicación fluida, oportuna y efectiva.



Figura 4.

Mecanismo de Desarrollo.



3. Procedimiento de elaboración de planes de finca del piloto nacional

El Plan de Finca (PF) operado en la fase de pilotaje consiste en una descripción detallada de las actividades a desarrollar en la FP seleccionada donde se aplicarán las medidas de mitigación previstas operar en un período de tiempo determinado (≤ 5 años), dirigidas a solucionar las limitantes prevalecientes y favorecer con ello la adaptación a las nuevas condiciones que ofrece el entorno agroproductivo.

Los elementos que un PF debe contener son diversos y muy variados en su naturaleza, características y propiedades (actuales y potenciales) dependiendo si pertenece a un agricultor o un ingenio, lo que obliga identificar, recabar, clasificar, priorizar y seleccionar los elementos que determinarán las mejores opciones tecnológicas por implementar y limitantes por superar.

Los factores y elementos requeridos para la toma correcta y oportuna de decisiones deben estar principalmente en el caso de los agricultores colaboradores, fundadas y justificadas en un estudio de situación (tipo FODA).

Se pretende que la planificación de la finca contribuya a que el personal técnico cuente con un punto de partida realista en el pilotaje. En el caso de los ingenios la decisión es más fácil y directa por conocer las características del mismo.

Seguidamente se anotan las fases sistemáticas a seguir para asegurar la selección de las mejores opciones tecnológicas aplicables a cada caso particular en el pilotaje de medidas de mitigación, en procura de instaurar un sistema productivo ajustado a la realidad del entorno, de los recursos disponibles y capacidades existentes en la finca.

El PF deberá hacerse de manera conjunta y participativa entre el técnico de DIECA con los productores seleccionados involucrando a sus familias. La NAMA Caña de Azúcar deberá crear y colocar a su vez todos los elementos requeridos y generados

(formatos, libros, hojas de cálculo, recursos informáticos, etc.) en un sistema operativo en línea para su registro, verificación y consulta.

A continuación, se señalan las secciones que deberán constar en los documentos de control y seguimiento que estratégicamente se dispondrán en las FP conducidas y controladas por el técnico y el productor de caña como principal ejecutor.

3.1. Paso 1: Evaluación de la situación actual

3.1.1. Componente 1: Características generales de la finca

Recaba e incorpora información general sobre la finca, el productor y su familia, como se aprecia en los Cuadros 1 y 2.



Cuadro 1.

Información general de la finca.

No.	Indicador	Comentario
1	Ubicación	Describir la ubicación geográfica: provincia, cantón, distrito, localidad
2	Altitud (msnm) de la finca	Citar la altura media del lugar
3	Propietario (s) de la finca	Indicar claramente nombre (s) del propietario (persona, sociedad o grupo familiar)
4	Nombre de la finca	Anotar como se conoce la misma
5	Usos principales de la finca	Indicar actividades desarrolladas: agrícola, pecuaria, forestal, ociosa
6	Tiempo de poseer o estar en la finca	Revela el grado de experiencia del productor en agricultura
7	Tiempo de cultivar caña de azúcar	Cuantifica el conocimiento, la experiencia y relación con el cultivo
8	Extensión total de la finca	Utilizar la hectárea (ha) como unidad de medida
9	Área (ha) sembrada con caña	Anotar el área cultivada con caña en hectáreas
10	Estado vegetativo de las plantaciones	Área: nueva, renovada, retoño (soca), semilleros dada en hectárea
11	Características fisiográficas dominantes	Relieve y topografía del terreno (plano, ondulado, quebrado), tipo de suelo (orden taxonómico, grado de fertilidad, textura, pedregosidad, etc.)
12	Condiciones de acceso a la finca	Describir condiciones presentes y dominantes
13	Ingenio(s) donde entrega la caña	Indicar donde entrega su materia prima
14	Distancia al Ingenio (km)	Ubica la distancia, requerimiento y costo del transporte
15	Productividad agroindustrial promedio	Citar productividad de campo (t caña/ha) y concentración de sacarosa (kg/t) recuperada, con lo que se estiman las toneladas de azúcar producidas/ha
16	Fecha de elaboración del Plan	Fija la fecha de inicio de la iniciativa de mejora.

3.1.2. Componente 2: Visión y Misión de la familia

Este módulo recoge y describe el sentimiento y condición que el agricultor y su familia desean alcanzar en el futuro para su finca. Revela y traza la ruta hacia dónde se desea conducir la finca en un plazo determinado, implementando las tecnologías promovidas por el pilotaje y aprovechando las oportunidades y potenciales del entorno.

La información objetiva, la capacitación, el entrenamiento y la asistencia técnica especializada son básicos en esa labor. La visión familiar es un componente determinante y trascendente para el éxito del PF, pues las acciones o los cambios que la familia prioriza deben contribuir a hacer realidad esa noble y sana intención.

La Visión en perspectiva debe ser medible en el tiempo de implementación que se propone fijar y básicamente responder a la consulta: ¿Cómo se quiere que esté la finca en el término de los próximos 3, 5 o 10 años? En caso necesario, el facilitador de la consulta debe crear un ambiente apropiado y agradable para la discusión entre los miembros de la familia participantes y resumir la Visión en pocas palabras. En el caso de la Misión debe abreviar como se va a lograr. Una valoración integral objetiva y equilibrada del entorno y los recursos disponibles, ubican las posibilidades reales de cualquier intención o propósito de mejora del sistema. El Cuadro 2 expone de forma sucinta algunos elementos que se recomienda atender durante la construcción de la Visión y Misión de la familia.

Cuadro 2.

Caracterización de la familia.

¿Cuántos miembros conforman la familia?
¿Piensa la familia permanecer en la finca?
¿Qué miembros de la familia participan en las labores de la finca?
¿Esperan mantener activos los mismos rubros productivos?
¿Hay interés y posibilidad de incrementar el área sembrada con caña?
¿Hay interés real por inducir cambios y mejoras en la finca?
¿Cómo desea que sea su finca en el corto plazo?
VISIÓN:
MISIÓN:

La Visión de una familia cañera podría, por ejemplo, resumirse en:

“Ser una finca ejemplar y eficiente que produzca más cantidad de caña de calidad por hectárea, dotada con mayor concentración de sacarosa que permita confrontar y superar con éxito el cambio climático en una condición más rentable y competitiva”.

La Misión de la familia, representa la razón de ser, por qué la familia trabaja, se esfuerza y mantiene produciendo la finca, concentrando el objetivo de la familia en el corto y largo plazo. Un ejemplo es:

“Producir y entregar al Ingenio materia prima de alta calidad para maximizar los ingresos de la empresa, contribuyendo con el ambiente y el bienestar de los consumidores y colaboradores”.

3.1.3. Componente 3: Situación actual de la finca

Identifica y ubica de manera selectiva los recursos bióticos y abióticos existentes y disponibles en la unidad productiva (FP), dónde el cuerpo técnico apoyándose en herramientas e instrumentos tecnológicos le ofrece información valiosa y utilitaria de su finca a los productores de caña mediante imágenes satelitales de (sea de Google Earth® o QGIS®), empleo de sistemas autónomos (drones), señalando que es lo que existe.

El mecanismo ubica y sitúa el potencial, las capacidades y también las limitantes de la finca, lo que permite diagnosticar toda la unidad en perspectiva. El propósito del componente es observar y reflexionar acerca de cómo es la finca, qué recursos dispone y cómo se distribuyen los mismos.

Esa lectura detallada de la finca debe identificar e incluir información relevante como la siguiente:

- Divisiones físicas (cercas u otro tipo de delimitaciones naturales o no)
- Caminos principales y secundarios
- Recurso hídrico (ríos, riachuelos, lagunas y otras fuentes de agua permanentes o no)
- Zonas o áreas potencialmente inundables

- Uso de la tierra
- Ubicación de vecinos inmediatos
- Cobertura forestal existente
- Ubicación de la casa, bodega y otras instalaciones
- Distribución de cultivos (anuales y permanentes)
- Relieve del terreno (plano, ondulado, quebrado) ubicando potencial mecanizable
- Barreras físicas (piedras, zanjas, cerros, etc.)

3.2. Paso 2: Diagnóstico de la finca

Para la valoración y el análisis interno y externo de la unidad agroproductiva, el FODA es uno de los instrumentos convencionales más utilizados para este objetivo, donde la sigla FODA es un acrónimo de Fortalezas (factores críticos positivos internos con los que se cuenta); Oportunidades (aspectos positivos externos que se pueden aprovechar utilizando las fortalezas); Debilidades (factores críticos internos negativos que se deben eliminar o reducir) y Amenazas (aspectos negativos externos que podrían obstaculizar el logro de los objetivos).

Con base en lo anterior se procede en conjunto con el productor y su familia a identificar, mencionar y priorizar todas las Fortalezas y Debilidades con que cuenta su unidad productiva; de igual manera se deberán enumerar todas las Oportunidades y Amenazas que a su criterio existen en el medio y pueden estarlo afectando. Se deben poner en perspectiva todas las necesidades que posee la finca en concordancia con la visión que determino la unidad familiar.

Hecho el trabajo anterior con el productor y su familia prosigue combinar las variables de los cuadrantes internos para generar las estrategias correspondientes de mayor viabilidad, factibilidad e impacto para satisfacer los objetivos previstos; por ejemplo, puede emplearse como estrategia resolver una Amenaza con una Fortaleza, como sucede mecanizar actividades (FA) para superar la carencia de mano de obra (A2).

De igual manera es factible cubrir una Debilidad con una Oportunidad como es aprovechar los buenos precios del azúcar (DO) para establecer plantaciones de semillero (D4) y elevar la productividad (D3).

El ejercicio está basado en buscar diferentes combinaciones identificadas por el propio agricultor para tratar de superar situaciones limitantes y amenazantes. El tema ambiental de adaptación al CC e incremento de la productividad deben imperativamente potenciar la implementación de las tecnologías seleccionadas, las cuales deben estar siempre en concordancia y consonancia con las particularidades y potenciales de los entornos de cada finca, localidad y región del país.

Cuadro 3.

Matriz FODA para análisis de una finca cañera.

Fortalezas	Oportunidades	Debilidades	Amenazas
Cuenta con suelos fértiles	Dispone de áreas para siembra	Carece de registros	Afectación por clima
Los suelos son mecanizables	Cuenta con fuentes de agua	Vías de acceso irregulares	Carencia de mano de obra
Buena concentración de sacarosa	Dispone variedades productivas	Baja productividad agrícola	Fitosanidad debilitada
Proximidad al ingenio	Potencial productivo es alto	No dispone de semilla	Suelos compactados
Cuenta con asistencia técnica	Precios favorables del azúcar	No cuenta con maquinaria	Falta de crédito
Ingenio presta servicios técnicos	Aumento capacidad de molienda	Servicios técnicos limitados	Desarrollo urbano

3.3. Paso 3: Selección de las estrategias

La fase de priorización y selección de una determinada estrategia va ligada y responde a la naturaleza y características de esta, visualizada en términos del tiempo en que se quiere alcanzar la meta fijada.

Es muy importante concebir y plasmar muy bien en la(s) estrategia(s) seleccionada(s) el factor(es) o elemento(s) que se desea corregir, superar y/o mejorar; motivo por el cual la(s) meta(s) (intermedias-final) debe(n) ser muy bien pensadas y definidas.

3.3.1. Componente 4: Situación deseada de la finca

Aquí se precisan las metas y los mecanismos a seguir para alcanzarlas, lo que define el PF. La participación y visión del productor y su familia es fundamental, considerando las limitantes existentes y sus posibles soluciones; así como las oportunidades y potenciales que presentan la finca y su entorno.

Deben considerarse las acciones que la familia realizará en los próximos 5 años (o menos) según el plan para tratar de lograr que la finca corresponda a su visión. Debe partirse de la forma como se ha trabajado la finca normalmente.

3.3.2. Componente 5: Las acciones que se deben seguir para alcanzar la finca deseada

Este componente identifica y describe las actividades, labores, prácticas e inversiones que se deben realizar para implementar los cambios pretendidos y las tecnologías promovidas; en la práctica es donde se define el plan de manejo de la finca por intervenir. Se recomienda que el lenguaje empleado con los productores de caña sea directo y de frases cortas. El acompañamiento del técnico de DIECA en esta fase debe ser muy completo e intenso. Para completar este componente, el agricultor y la familia tienen que participar, conocer y decidir elementos como los anotados en el Cuadro 4.

Cuadro 4.

Acciones a seguir en el plan previsto a desarrollar en la finca.

Asunto por conocer	Alcances
¿Qué se debe hacer en el área de interés por atender?	Va referido con respecto al área (ha) que será intervenida
¿Cuándo debo hacerlo?	Definir la fecha de ejecución con base en elementos objetivos
¿Cuál es el costo implicado por los cambios comprometidos?	Debe tenerse una idea clara de los costos implicados y su naturaleza, los cuales pueden ser operativos o de inversión. Conocer los tiempos y momentos de aplicación de los recursos
¿Con qué recursos cuento para poder hacerlo?	Si son propios, crediticios, aportes externos o cofinanciamiento
¿Qué tiene que hacer y como participa cada integrante en el desarrollo del plan propuesto?	El agricultor y los miembros de la familia definen su rol de participación; lo que incluye también al técnico de DIECA
¿Cómo y en qué forma se va a ejecutar?	El técnico presenta y comenta con el dueño de la finca una propuesta inicial del plan concertando la versión final.
¿Por cuánto tiempo se proyectan ejecutar los cambios?	Es necesario conocer la duración del plan y distribuir los tiempos de acuerdo con las necesidades
¿Qué respuesta espero lograr con los cambios incorporados?	Debe saberse que espero obtener (productos) con los ajustes aplicados con el plan

La estrategia de formulación del plan implica diseñar, disponer y manejar un sistema de registro y anotación adecuado conjuntamente con los técnicos que dan soporte a las fincas, con la finalidad de medir, controlar y dar seguimiento al grado avance, condición de las medidas implementadas y gastos implicados. Para dicho fin LAICA diseñara un sistema informático donde se registrarán los datos recabados de cada unidad productiva donde aplica pilotaje o en su momento escalamiento. Puede existir también un registro físico sencillo (a considerar).



En cada visita el técnico de DIECA vinculado con la unidad agroproductiva registra los datos recabados y genera un informe conteniendo datos de las tecnologías, insumos empleados, labores y prácticas ejecutadas, gastos realizados e información de utilidad, que permitan una planificación de finca y un control de cada unidad particular para valorar el grado de avance alcanzado contra lo originalmente planificado.

3.4. Paso 4: Implementación y Evaluación de las estrategias

3.4.1. Componente 6: Monitoreo y ajuste del plan

Una vez que se cuenta con el PF debidamente formulado y concertado, se espera que la familia participe de su ejecución con el necesario apoyo técnico requerido. En la fase de pilotaje se espera evaluar periódicamente los avances del plan, midiendo y calificando cuánto se ha ejecutado del mismo, qué dificultades se han enfrentado, si existen necesidades en las cuales el técnico o las instituciones u organizaciones podrían colaborar, etc. La evaluación de las estrategias seleccionadas en el PF se basa en tres enfoques: a) partiendo del escenario de Línea Base donde no existe cambio, intervención ni mejora alguna; b) el escenario (teórico) generado a partir de la incorporación de las mejoras tecnológicas proyectadas y c) el escenario real donde se recolectan y analizan los resultados propios de la finca favorecidos por las medidas NAMA implementadas.

Es notorio, evidente y entendible que no existe una fórmula única para desarrollar un PF completo y exitoso, pues ello dependerá del nivel de participación, control y seguimiento que tenga el personal técnico del plan; así como del grado de compromiso que muestre el productor de caña de azúcar y su familia, asociado a la contextualización que se tenga en las percepciones de la finca y sus posibilidades.

La estrategia anterior es muy apropiada de operar con Productores Independientes, particularmente pequeños agricultores de muy escasos recursos; en el caso de Ingenios y productores tecnificados la metodología se debe simplificar a lo básico.

4. Fincas y Parcelas Piloto

La instalación de las FP con sus respectivas PP en las seis regiones productoras de caña de azúcar del país marca el inicio del proceso de implementación y validación de las estrategias de producción bajas en Carbono, especificadas en el diseño técnico de la NAMA.

Al ser un proceso dinámico de validación y comprobación de resultados en el campo, las parcelas estarán sujetas a incorporar medidas de optimización, adecuación y de mejora futura, conducentes a: 1) Disminuir la emisión de GEI y 2) Incrementar la capacidad productiva agroindustrial en sus respectivas variables.

Este proceso de evaluación comprenderá un ciclo comercial completo de cultivo (5 años) que va desde la siembra, hasta la cosecha de la cuarta soca. Ese período de tiempo es suficiente para determinar la eficacia del sistema productivo asociado a la NAMA, medido en términos de emisión-fijación de GEI, productividad agroindustrial, costos asociados a la producción y rentabilidad económica; respecto al sistema de producción tradicional desarrollado en la región por Productores Independientes e Ingenios en sus fincas comerciales.

Complementariamente, las PP serán utilizadas como “vitriñas” para que el propio dueño de la FP, así como los productores de caña vecinos, puedan conocer de las ventajas del sistema NAMA y, por medio de visitas individuales o actividades grupales como días de campo, demostraciones de método y otras estrategias de transferencia tecnológica, implementar los sistemas en sus propias fincas permitiendo esto sentar las bases para la Fase de Escalamiento posterior que deberá tener la NAMA a nivel nacional.

4.1. Selección de los colaboradores

La correcta selección de los productores e ingenios colaboradores es crucial para asegurar la validación de las tecnologías y la efectividad del proceso de transferencia tecnológica del sistema NAMA, para alcanzar y satisfacer las metas fijadas en cuanto a mitigación, reducción de GEI e incremento productivo en el área de interés.

El Cuadro 5 resume las principales aptitudes y atributos deseables (no los únicos) de los productores considerados incluir en la fase de pilotaje. La selección del colaborador esta antecedida por el cumplimiento de los factores y elementos del entorno que se desean mejorar con la tecnología NAMA, no a la inversa; por lo cual debe tipificarse y perfilarse en primera instancia el tema por validar y luego buscar el colaborador idóneo que satisfaga esas condiciones.

Cuadro 5.

Aptitudes y atributos deseables de los productores para considerar en su elección para participar de la Fase de Pilotaje.

No.	Aptitud / Atributo
1	Reconocimiento y liderazgo entre los productores de la zona
2	Generador de credibilidad y confianza.
3	Mantiene buenas relaciones con otros miembros del sector
4	Dispuesto a aprender
5	Objetivo, disciplinado y ordenado en todos sus actos
6	Comprometido con la actividad y el sector cañero
7	Dispuesto a participar de toda la fase de pilotaje
8	Disposición de colaborar en la implementación y divulgación de los resultados
9	Disposición de brindar la información de manera objetiva, oportuna y veraz
10	Positivo y propositivo Tiene la capacidad de influenciar en forma positiva
11	Con espíritu emprendedor y progresista
12	Con disposición a comunicar y servir de agente de cambio
13	Liderazgo centrado en valores. Practica lo que predica.
14	Estimula el trabajo en equipo basado en la escucha activa y el desarrollo de la confianza
15	Busca alternativas innovadoras para la solución de sus problemas
16	Acepta el liderazgo compartido
17	Dispuesto a incluir en su modelo agro-productivo la naturaleza y la biodiversidad
18	Apoya y promueve el fortalecimiento de la organización campesina

4.2. Ubicación de las fincas

La ubicación geográfica de las FP será realizada estratégicamente considerando criterios estrictamente técnicos que aseguren su máxima representatividad climática, edáfica, varietal y de manejo general de la plantación, respecto a las características del entorno y la zona donde esta se ubica. Asimismo, es deseable que las fincas incorporen plantaciones de todos los rangos de entrega contenidos en la legislación azucarera nacional de acuerdo con lo que establece LAICA (1998, 2000) al respecto. Se deberá asegurar además que la finca tenga fácil acceso y que haya total apertura y compromiso del productor y/o ingenio dueño de la finca, para implementar los sistemas de manejo del cultivo y de Monitoreo, Reporte y Verificación (MRV) de las emisiones de GEI recomendados.



Entornos de producción de caña de azúcar en Costa Rica.

El Cuadro 6 detalla la ubicación y el número de FP (35 en total) previstas establecer según cantón y región cañera. La Figura 5 reporta los principales cantones cañero-azucareros en los cuales se ubicarán dichas fincas. Los cantones cañeros participantes serán: Liberia y Carrillo en la subregión de Guanacaste Oeste; Cañas y Bagaces en la subregión Guanacaste Este; Puntarenas en la región del mismo nombre; San Ramón y Grecia en la región Valle Central; San Carlos y Los Chiles en la Zona Norte; Jiménez y Turrialba en la región de Turrialba, y San Isidro y Buenos Aires, en la Zona Sur.

Dentro de cada FP se establecerán dos tipos de PP: una parcela con Tecnología NAMA y otra con tecnología propia del productor, generando así un total de 70 parcelas en el PLP. Este sistema comparativo permitirá evidenciar de forma precisa y contundente, la magnitud de las emisiones y posibles fijaciones entre ambos sistemas; así como estimar la conveniencia de una u otra práctica de manejo en función del flujo de Carbono y de aspectos productivos y económicos. Es precisamente esta comparación la que permitirá durante la fase de pilotaje (5 años), ir validando o ajustando el paquete tecnológico asociado con la NAMA.

Cuadro 6.

Número de Fincas Piloto y sus respectivas Parcelas de Validación con implementación de la NAMA y tecnología propia del productor, según región y cantón.

Región	Cantón	Fincas Piloto / Región	Parcelas / Región
Norte	San Carlos	4	8
	Los Chiles	4	8
Sur	Pérez Zeledón	3	6
	Buenos Aires	1	2
Turrialba	Jiménez	2	4
	Turrialba	2	4
Valle Central	Grecia	3	6
	San Ramón	1	2
Guanacaste	Carrillo	4	8
Oeste	Liberia	3	6
Guanacaste	Cañas	3	6
Este	Abangares - Bagaces	3	6
Puntarenas	Puntarenas	2	4
Total	-	35	70

Cada PP tendrá un tamaño mínimo de 0,5 hectáreas (una hectárea por finca), pudiendo ser eventualmente mayor, nunca inferior. La cantidad de fincas seleccionadas por localidad mantiene una sana representatividad y correlación con el área comercial sembrada en cada región productora.

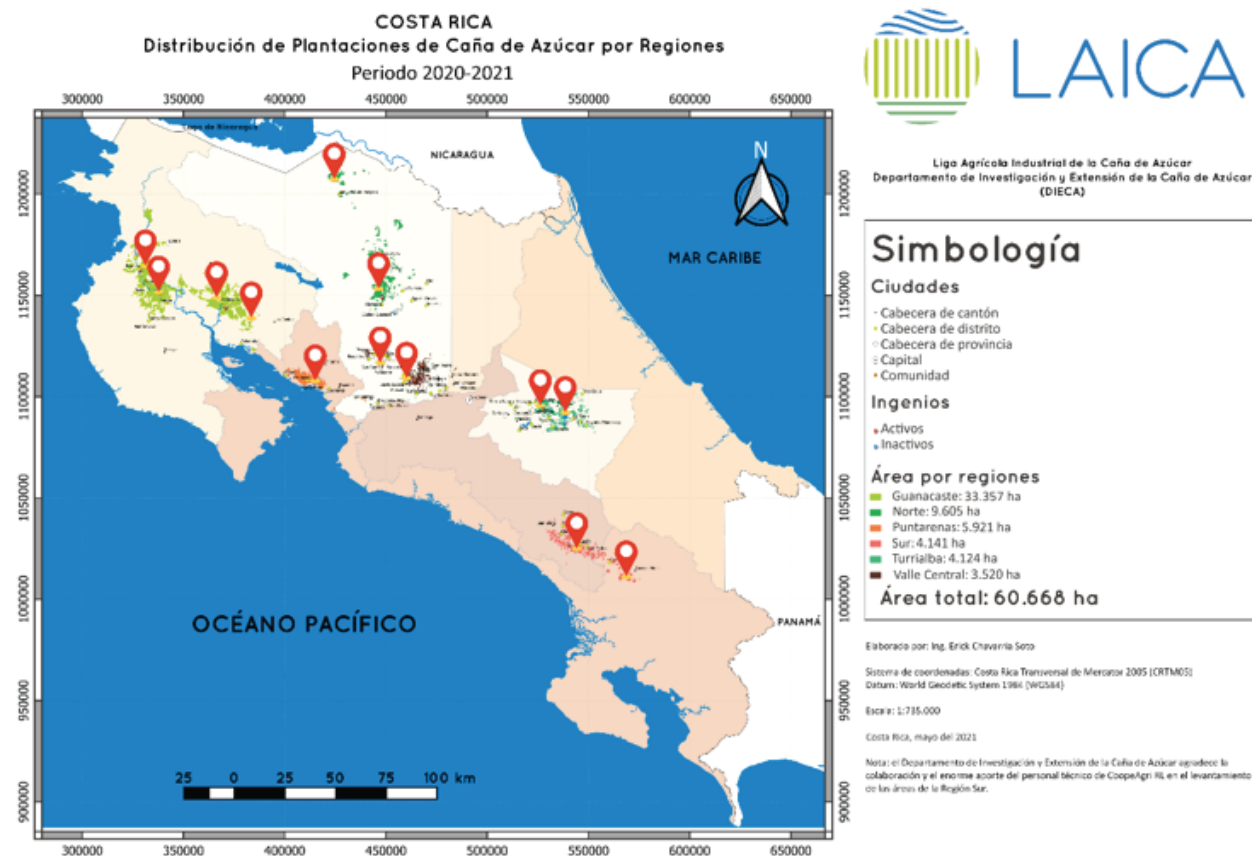


Figura 5.

Cantones cañeros en donde se ubicarán las Fincas Piloto

4.3. Caracterización de recursos

Como se anotó en el Punto 3, la recolección de información y Datos de Actividad (DA) de la finca del productor donde se establecerán las PP resulta esencial, debido a que generará la información básica que será empleada en la definición de contenido de las tecnologías NAMA por implementar. La ubicación de las PP debe ser representativa de la condición general de la finca, sin privilegios ni condicionamientos en su selección.

4.4. Parcelas con Tecnología del Agricultor

Estas parcelas serán conducidas bajo la metodología tradicional y manejo tecnológico propio con que el agricultor realiza habitualmente sus prácticas de manejo agronómico en el campo. Se pretende que esta parcela sirva de “testigo referente” sobre lo que regularmente se realiza en el lugar para producir caña de azúcar a nivel comercial.

La parcela contará con un tamaño similar a la de la NAMA, por lo cual deberá marcarse definiendo su área perimetral para efectos de manejo, cosecha y MRV. En lo pragmático el área restante de la finca sin tecnología NAMA puede actuar como unidad comparativa referente contra la que se contrastarán los resultados de las opciones tecnológicas propuestas para fomentar la mitigación en las emisiones de GEI (Tecnología NAMA); siendo, sin embargo, como se indicó, la marcada la que operará como comparativo.

4.5. Parcelas con Tecnología NAMA

Estas parcelas serán establecidas y conducidas de acuerdo con las técnicas (paquete tecnológico) recomendadas por DIECA para la localidad y condición productiva particular, con estricto apego a sus características edáficas (suelo), climáticas, propiedades naturales y potenciales agro-productivas propias y representativas del lugar.

Dicha tecnología incorpora los criterios de manejo y elementos de campo apegados con las recomendaciones NAMA orientadas a mitigar los GEI e incrementar la capacidad de los sumideros de Carbono (suelo y biomasa arbórea), dentro de pará-

metros agronómicos que aseguren una alta productividad agroindustrial. Los cambios pueden ser de fondo en temas vinculados con la variedad sembrada, la forma de preparar el suelo y sembrar la plantación, la corrección del suelo y fertilización aplicada, la forma de cosechar, etc.

4.6. Prácticas por validar

En concordancia con los objetivos de la NAMA visualizados en términos ambientales, pero también, considerando la obligatoriedad de que la estrategia influya positivamente sobre la productividad agroindustrial del cultivo en el ámbito local, regional y nacional; se implementarán estrategias y prácticas agronómicas mediante las cuales se comprobara en el campo la efectividad y viabilidad de éstas para alcanzar la meta procurada. Los resultados del PLP se dimensionarán en una fase posterior de escalamiento.

El Cuadro 7 y la Figura 6 detallan algunas de las estrategias que, dependiendo de cada condición particular de cada región y finca cañera, podrán implementarse en la fase de pilotaje para validarlas como prácticas que permiten mitigar la emisión de GEI, aumentar la fijación de Carbono en el suelo, en la biomasa y, aumentar la productividad agroindustrial. Las estrategias por evaluar serán multifactoriales y no individuales o exclusivas para una sola práctica, salvo casos excepcionales, lo que da lugar al concepto de “paquetes tecnológicos”.



Cuadro 7.

Prácticas agronómicas asociadas a la NAMA que permiten reducir la emisión de GEI, aumentar la fijación de carbono y aumentar la productividad.

Componente	Prácticas	Resultado esperado
Preparación del suelo	Mínima labranza	Reducir la erosión, la compactación, degradación, la pérdida de Materia Orgánica y el consumo de combustibles
	Curvas de nivel	
	Cobertura vegetal	
	Subsolado	
Siembra	Sistemas de siembra	Incrementar el potencial productivo de la variedad, reducir la cantidad de semilla empleada, mantener una alta germinación y población de tallos
	Uso de semilla genéticamente pura, sana y de alto vigor	
	Variedad productiva y adaptada	
	Resiembra de plantas	
Nutrición	Análisis de fertilidad del suelo	Reducir la cantidad de fertilizantes (principalmente nitrogenados), incrementar los rendimientos agroindustriales, prolongar la vida útil del cañal, recarbonizar el suelo y aumentar su componente microbiano
	Aplicación de enmiendas	
	Aumento de eficiencia en fertilizantes nitrogenados	
	Aplicación de biofertilizantes e inoculantes microbianos	
	Aplicación de biocarbón	
	Aplicación de abonos orgánicos y siembra de abonos verdes	
Cultivo en asocio		
Control de malezas	Calibración de equipos de aplicación	Evitar competencia con el cultivo, reducir dosis y frecuencia de aplicación, aumentar aprovechamiento del fertilizante aplicado
	Aplicación de pre-emergentes	
	Aprovechamiento de la biomasa	
Control de plagas	Monitoreo permanente	Evitar poblaciones sobre el nivel de daño económico, mantener alta biodiversidad y presencia de enemigos naturales
	Trampeo	
	Uso de agentes de control biológico (MIP)	
Riego y drenaje	Nivelación	Reducir el consumo de agua y de energía para su bombeo
	Sistemas de riego	
	Cosecha de agua	
Cosecha	Madurantes	Maximizar el contenido de sacarosa al momento de la cosecha, evitar el deterioro de la materia prima, reducir el consumo de combustibles fósiles
	Curvas de madurez	
	Sistemas de cosecha	
	Transporte de caña	
Arborización	Siembra de árboles en áreas poco productivas	Aumento de la captura y fijación de Carbono total en la finca
Sistema de agricultura de precisión (SAP)	Optimizar el momento para ejecutar prácticas agronómicas	Reducir la aplicación de agroquímicos, bajar costos de mano de obra, maximizar la producción y prolongar la vida útil del cañal



Figura 6.

Estrategias y prácticas agronómicas asociadas con la NAMA Caña, integradas al ciclo productivo destinadas a mitigar la emisión de GEI y favorecer la productividad agroindustrial.

4.7. Duración y frecuencia de mediciones

Se espera en principio completar en cada prueba de campo (PP) que se realice un ciclo vegetativo comercial de cultivo, correspondiente a cinco cosechas consecutivas; las cuales pueden ser sin embargo inferiores dependiendo del tema y la estrategia NAMA evaluada. Por ejemplo, si no fuera necesario sembrar el periodo de evaluación puede reducirse a 3-4 cosechas.



5. Medición de los Indicadores

El MRV de la NAMA se compone de varios indicadores de diversa naturaleza sujetos a medición, que permitirán revelar el grado de avance e impacto de la estrategia de mejora implementada y evaluada en el campo en concordancia con lo previsto y planificado, entre los cuales pueden mencionarse los siguientes:

5.1. Área (ha)

Este indicador resulta fundamental de conocer virtud de que ubica y contextualiza la variable en una unidad homogénea y unificada de medición, en este caso hectáreas (10.000 m²), debiendo realizar las conversiones cuando corresponda. Para convertir manzanas (mz) a hectáreas (ha) multiplicar por un factor de 0,70. La medición del área de interés debe ser hecha a partir de planos catastrados, con cinta métrica o equipos electrónicos precisos exclusivamente sobre el área efectiva cultivada con caña, obviando áreas no productivas (casas, bodegas, caminos, bordes, zona forestal, etc.); con lo cual se evita distorsionar el resultado final y con ello las proyecciones e inferencias posteriores. Este tema es de vital trascendencia controlar.

5.1.1 Indicador: Área cultivada (ha) según estado vegetativo

En caña de azúcar y para efectos de lograr una mayor exactitud y objetividad en las mediciones, inferencias y proyecciones realizadas, el área total sembrada con caña debe discriminarse en sus referentes básicos como: Área Nueva, Renovada, en ciclo de Soca o Retoño y la dedicada a Semilleros u otro fin (pecuario, forrajero, dulce, etc.). La primera corresponde al área recién sembrada e incorporada y que amplía la plantación, la segunda a plantaciones ya existentes que fueron renovadas y sembradas nuevamente por agotamiento productivo y, las de Soca, a las plantaciones que se encuentran creciendo en ciclos sucesivos de cosecha. De acuerdo con su estado vegetativo de cosecha las Socas o Retoños corresponden a: primera Soca (segundo corte), segunda Soca (tercer corte), tercera Soca (cuarto corte) y así sucesivamente (Chaves 2019c). Es de esperar que conforme avanzan las cosechas las plantaciones pierdan vigor y capacidad productiva; fijando por ello cinco cosechas sucesivas como un término comercialmente aceptable pero no necesariamente óptimo, pues la vida útil de una plantación puede y debe idealmente prolongarse aún por más tiempo buscando alcanzar una mayor competitividad.

5.2. Productividad agrícola e industrial

Este grupo de indicadores agroindustriales son determinantes para establecer inferencias válidas y correctas al momento de interpretar el efecto e impacto de una medida, factor o estrategia tecnológica sobre una plantación de caña de azúcar. Dichos indicadores permitirán conocer el efecto de las tecnologías NAMA sobre las plantaciones comerciales de caña de azúcar. El indicador y su medición deben ir siempre referenciados a una unidad conforme con la legislación vigente (LAICA 1998, 2000).

5.2.1. Indicador: Productividad de caña (t/ha)

El indicador mide el rendimiento o índice de productividad agrícola al relacionar la cantidad de materia prima industrializable cosechada en el campo medida en toneladas métricas respecto al área efectiva de procedencia (Punto 5.1) medida en hectáreas. Resulta valioso para fines de interpretación ubicarla por su condición vegetativa (Punto 5.1.1). Por industrializable se entiende caña que califica por su calidad como materia prima para extraer sacarosa y fabricar azúcar en el ingenio. En el caso de las FP y las PP el dato puede ser medido y obtenido empleando en el pesaje las balanzas especiales que DIECA posee para ese fin, o tomada a partir de las entregas que se realicen en la "romana" del ingenio. La estimación de este importante indicador se realiza una vez al año luego de efectuada la cosecha de la plantación. Se debe ser muy cuidadoso en asegurar la procedencia exclusiva del área seleccionada (PP) y empleada como referente.



Producción de materia prima con calidad industrializable.

5.2.2. Indicador: Concentración de sacarosa contenida en los tallos (kg/t)

La determinación de los indicadores relacionados con la calidad de los jugos extraídos a partir de la materia prima producida y cosechada en el campo, entregada y procesada en el ingenio, se realiza sobre una muestra compuesta y representativa analizada en los laboratorios de este, siguiendo de conformidad el procedimiento oficial establecido y vigente para ese fin fiscalizado por LAICA (LAICA 2000). El reporte de laboratorio permite conocer además del Rendimiento Industrial (fábrica) o cantidad de sacarosa promedio contenida y extraída a partir de la caña entregada, expresada en kilogramos de sacarosa (96 grados Pol) por tonelada métrica de caña procesada (kg/t); otros indicadores importantes y reveladores como son la concentración de sólidos totales (% brix), la pureza (%), la melaza (kg/t) y el contenido de fibra % caña presente. La estimación de este importante indicador se realiza una vez al año luego de efectuada la cosecha de la plantación.



Análisis químico de materia prima en laboratorio de ingenios

5.2.3. Indicador: Rendimiento de miel (melaza) (kg/t)

Corresponde a la cantidad de azúcar que no cristalizó y se recupera en el ingenio como un derivado obligado expresado como melaza o miel final. Se expresa como los kilogramos de miel (96 Grados Pol) recuperados por tonelada métrica de caña molida (kg/t). El dato como se indicó (Punto 5.2.2) es obtenido anualmente y proporcionado por el laboratorio del ingenio donde se entrega la caña.

5.2.4. Indicador: Productividad agroindustrial (t azúcar/ha)

Este indicador resulta determinante virtud de que combina e integra los dos anteriores correspondientes al Rendimiento Agrícola (t/ha) que referencia la cantidad de caña cosechada y procesada (Punto 5.2.1) y el Rendimiento Industrial o de Fábrica (Punto 5.2.2), que expresa la cantidad promedio de sacarosa (kg/t) contenida y extraída en esa materia prima. Como producto se obtiene la cantidad de azúcar (96 Grados Pol) fabricada por el ingenio expresada en toneladas métricas de azúcar (96° Pol) por hectárea, lo que es muy revelador de lo acontecido en el campo. La estimación de este importante y revelador indicador se realiza una vez al año luego de efectuada la cosecha de la plantación. El valor es estimado por simple cálculo aritmético.

5.2.5. Indicador: Relación Caña/Azúcar (t/t)

La Relación Caña/Azúcar conocida también como Relación Sacarosa, constituye como indicara Chaves (1999), “...un indicador técnico de gran significancia y utilidad analítica, en virtud de que incorpora intrínsecamente una valoración de índole económico al resultado. Se interpreta como la cantidad de materia prima (caña) necesaria moler para fabricar una tonelada métrica de azúcar (96° Pol) en el ingenio.” Dicho valor estimado con la cosecha es adimensional al relacionar t/t.

5.2.6. Indicador: Residuos agrícolas de cosecha (RAC) (t/ha)

Una plantación comercial de caña luego de cosechada deja como remanente en el campo una importante cantidad (2-8 t) de material vegetal que es por lo general acordonado mediante la práctica de la remanga, quemada o en su caso dejada en el campo para su mineralización natural. Dicho material se compone de hojas verdes y secas, cogollo, hijos y tallos no industrializables, raíces, cepas, arbustos y restos de malezas.

La cantidad generada es variable dependiendo de si el sistema de cosecha es manual o mecánico, con caña corta o larga, con quema o en verde y también de las características del clima y de la variedad en cuanto al porte erecto y despaje de sus tallos industrializables. La medición se realiza una vez al año luego de efectuada la cosecha de la plantación. Es importante su determinación pues representa una cantidad de biomasa potencialmente aprovechable como abono orgánico y material para compostaje, que contribuye con la recarbonización del suelo (Chaves 2020c).



Residuos de cosecha en sistema manual y mecanizado.

5.3. Costo de las Parcelas Tecnología Productor y NAMA

Es importante y determinante levantar y llevar un control estricto y detallado de los gastos implicados en el establecimiento y operación de cada PP. Dicho costo dependerá de factores como: número de cosechas, tecnología evaluada, insumos implicados, intensidad de mano de obra o equipo involucrado, variables evaluadas, cantidad de evaluaciones, tipo de análisis, entre otros.

Por ejemplo, una prueba de fertilización que requiera medición de gases GEI en el laboratorio tendrá un costo muy superior a otra donde solo se realice labranza mínima. Es importante reiterar que se trabajará en las PP mediante “paquetes tecnológicos integrados” y no exclusivamente sobre prácticas individuales, lo que obliga conjuntar, pero también discriminar los gastos implicados para valorar e interpretar con certeza el costo de la tecnología incorporada. Es necesario desarrollar una Base de Datos para costos, ingresos y determinación de rentabilidad, lo que conlleva complementariamente operar el libro de labores donde el productor registre la información correspondiente como se anotó en el Punto 3.3.

5.3.1 Indicador: Costo Parcelas con Tecnología del Productor (¢/ha)

Por su empleo como referente (testigo) comparativo, es importante llevar un control estricto del gasto implicado en su establecimiento, manejo y cosecha; para lo cual se debe llevar un registro apropiado, detallado y comprensible, consecuente con lo anotado en el Punto 3.3. Es importante evitar que el agricultor “compita” con la tecnología NAMA incorporando elementos ajenos a su labor ordinaria, razón por la cual la estructura de costos, insumos, labores y prácticas debe quedar establecida previo al trabajo de campo.

5.3.2 Indicador: Costo Parcelas con Tecnología NAMA (¢/ha)

Considerando su valor como determinante de viabilidad y factibilidad técnico-económica para las recomendaciones posteriores para fines de implementación y escalamiento de la NAMA, es imperativo tener un control muy estricto de los costos implicados, particularmente en los nuevos insumos y/o prácticas incorporadas como factores de cambio respecto a la parcela del agricultor. Se deben individualizar, identificar, discriminar y cuantificar de manera independiente y selectiva las acciones, prácticas, insumos y gastos correspondientes exclusivamente a la Tecnología NAMA incorporada; de manera que permita comparar y diferenciar con exactitud el costo de esa Tecnología con respecto a la del productor.

5.4 Rentabilidad de la actividad productiva

Tanto la tecnología del agricultor como la incorporada con la NAMA deben generar una relación de Gastos/Ingresos que permita inferir con exactitud la benevolencia de una u otra basada en ese criterio y desde una perspectiva económica. Es importante en la interpretación incorporar adicionalmente criterios asociados con la ecoeficiencia y la eco-competitividad coligados directamente al factor ambiental.

5.4.1. Indicador: Costo por unidad de área (¢/ha)

Este indicador resulta muy revelador de la relación económica asociada al costo de implementación de una determinada tecnología y sistema de manejo. Es importante su empleo como criterio de selección e interpretación al momento de establecer recomendaciones. Corresponde al costo que implicó el establecimiento, manejo y cosecha de la plantación referido a una hectárea de terreno. Se obtiene anualmente con la cosecha.

5.4.2. Indicador: Costo unitario de producción de caña (¢/t)

Por facilidad comprensiva y de uso para estimaciones y proyecciones posteriores, es de gran valor utilitario conocer el costo unitario vinculado en la producción de una tonelada métrica de caña industrializable, sea en la parcela NAMA o del agricultor. Para ello deben relacionarse la cantidad total de caña cosechada (Punto 5.2.1) con el costo implicado en su producción (Punto 5.3), como sigue:

$$\text{Costo unitario caña } (\text{¢/t}) = \frac{\text{Costos Totales Producción } (\text{¢/ha})}{\text{Cantidad Caña Cosechada } (\text{t/ha})}$$

5.4.3. Indicador: Ingresos por unidad de área (¢/ha)

Igual que acontece con los costos de producción es imperativo determinar los ingresos generados en cada unidad agroproductiva (parcela), para lo cual deben consignarse los ingresos totales por azúcar y melaza correspondientes a la cantidad (t) y calidad (kg/t) de materia prima cosechada y entregada, como sigue:

$$\text{Ingresos por unidad de área } (\text{¢/ha}) = \text{Ingresos por azúcar } (\text{¢/ha}) + \text{Ingresos por melaza } (\text{¢/ha})$$

5.4.4. Indicador: Rentabilidad agroproductiva

Con la información anterior (Puntos 5.4.1 y 5.4.3) es viable estimar y determinar desde una perspectiva estrictamente económica la rentabilidad final de la unidad agroproductiva independientemente de su naturaleza, sea la parcela testigo del productor o la que incorporó la Tecnología NAMA, favoreciendo con ello la comparación entre ambas estrategias. La forma de cálculo es como sigue:

$$\text{Rentabilidad Final } (\$/\text{ha}) = \text{Ingresos Totales } (\$/\text{ha}) - \text{Costos Totales } (\$/\text{ha})$$

Como se indicó con anterioridad parece necesario y razonable incorporar al criterio económico una valoración de carácter ambiental apropiada que interprete los beneficios y contribución al ambiente y el ecosistema favorecida por la reducción de GEI.

5.5 Resiliencia o capacidad de adaptación a los efectos del Cambio Climático

Busca establecer la medición de algunos indicadores reveladores del grado de adaptación y resiliencia que posea una determinada plantación para confrontar los efectos provocados por el CC. La determinación se realiza mediante muestreos periódicos sobre puntos preferencialmente fijos y variables aceptadas para ese fin como son la Materia Orgánica (MO), el Carbono Orgánico (CO) y la Biomasa presente.

Las mediciones vinculadas con este acápite deben realizarse en los momentos más oportunos y reveladores del año dependiendo de su naturaleza, debiendo ser preferentemente en periodos similares de tiempo para cada región, por lo cual es importante calendarizar los tiempos de muestreo.

5.5.1. Indicador: Producción de biomasa (t/ha)

Este indicador integra, suma y acumula la información correspondiente a la cantidad total dada en toneladas métricas (t) de biomasa producida en una hectárea (ha) de terreno sembrada con caña, para lo cual relaciona la materia prima representada por los tallos industrializables cosechada (t/ha) y procesada en el ingenio (Punto 5.2.1), con la cantidad de RAC remanentes en el campo (Punto 5.2.6) compuesta por hojas verdes y secas, cogollo, hijos y tallos no industrializables, raíces, cepas, arbustos y restos de malezas. La medición de producción de biomasa se realiza una vez al año luego de efectuada la cosecha de la plantación, preferiblemente en los 3

días siguientes a su corta y recolección, evitando la pérdida de humedad y variación del peso. La relación de cálculo es la siguiente:

$$\text{Biomasa Producida (t/ha)} = \text{Caña Cosechada y Procesada (t/ha)} + \text{Residuos de Cosecha (t/ha)}$$

Este indicador adquiere interés y valor en la estimación y balance de GEI (Punto 7).

5.5.2. Indicador: condición del suelo

El suelo constituye una de las estructuras más reveladoras y sensibles para medir los cambios acontecidos en el entorno productivo por causa del CC, tanto positivos como negativos, manifestados de diferente forma y por varios mecanismos. Los cambios vienen promovidos por causas naturales e inducidas por acción antropogénica; pero también por eventos climáticos algunas veces extremos que favorecen lo que técnica e integralmente es concebido como “degradación”.

La degradación de un suelo como señalara Chaves (2020a), “...puede concebirse y definirse como el proceso degenerativo natural o inducido por el hombre (antrópico), que afecta negativamente la biota y la físico-química interna del suelo para soportar vida en un ecosistema, en nuestro caso plantaciones de caña de azúcar, reduciendo la capacidad productiva actual o futura de los suelos, lo que incluye e involucra procesos vinculados con la captación, almacenamiento, transformación y reciclaje de agua, materia orgánica y nutrientes. El proceso ocurre cuando el suelo pierde importantes propiedades y recursos naturales como consecuencia de una inadecuada utilización y manejo. Algunos lo califican como un cambio severo en la salud del suelo.”

La degradación involucra efectos conocidos como acidificación, salinización, compactación, erosión, pérdida de materia orgánica y contaminación. Por antecedente comprobado, el suelo es considerado un indicador muy eficiente y revelador de la “salud” del medio y de su capacidad para mantener sostenible, rentable y competitivo un sistema productivo, en este caso de caña de azúcar. Su medición y diagnóstico resulta por esto obligado, para lo cual se deben seguir y aplicar las normas y procedimientos técnicos válidos, aceptados y pertinentes (Briceño y Pacheco 1984; Henríquez *et al* 1995; Henríquez y Cabalceta 2012).

5.5.2.1. Toma de muestras en el campo

La metodología recomendada utilizar es la aceptada y practicada en Costa Rica para lo cual se requiere definir en primera instancia la ubicación de las unidades o puntos

de muestreo seleccionados, la cantidad de muestras (compuestas) y submuestras por tomar, la profundidad de muestreo recomendado (0-20 y 20-40 cm), la mejor época del año (mayo) y la periodicidad del muestreo (años 1, 3 y 5), como lo sugiere y recomienda Chaves (2022e) particularmente para la caña de azúcar. Las unidades de muestreo en FP y PP deben ser localizadas en áreas con características homogéneas y similares entre sí en cuanto a tipo de suelo (orden taxonómico, color, textura, profundidad, pedregosidad, etc.), topografía (plana, ondulada, quebrada), grado de erosión existente, variedad sembrada/vegetación presente, manejo prestado al suelo y la plantación en cuanto a uso de enmiendas, fertilizantes sintéticos, abonos orgánicos, mecanización, tránsito de maquinaria, quema, remanga, etc. El número de muestras y submuestras extraíbles depende de la cantidad de unidades de muestreo, la uniformidad y heterogeneidad del terreno, recomendando tomar al menos 2 muestras compuestas (≥ 3 submuestras) por PP. Considerando que son 2 profundidades serán entonces 4 muestras por PP.

Los instrumentos requeridos son: barreno (holandés, tubo, tornillo) o palín, balde plástico o recipiente contenedor, bolsas plásticas, superficie limpia o plástica (0,5 m²) para mezcla y “cuarteo”, marcador para identificar las muestras. Se recomienda usar barreno por alcanzar una profundidad y cantidad de muestra muy homogénea. Los puntos muestreados deben ubicarse por GPS en el mapa de la finca.

El muestreo se realiza mediante un recorrido por la finca y/o parcela en “zigzag” procurando abarcar la mayor área posible, tomando submuestras que son colocadas en un recipiente limpio para su posterior mezcla, homogenización y “cuarteo” con el fin de obtener una muestra compuesta de aproximadamente 0,5 kg. Debe cuidarse mantener la profundidad y el volumen de muestra homogéneos en cada punto de muestreo y eliminar restos vegetales en la sección superficial.

El “cuarteo” consiste en reducir la cantidad (kg) de muestra generada por las submuestras, colocando el suelo luego de mezclado y homogenizado en un plástico extendido, dividiéndolo en cuartos, eliminando los opuestos y homogenizando los otros hasta obtener 0,5 kg que resulta suficiente para análisis. El tiempo transcurrido para análisis es importante por lo que la muestra debe enviarse rápido al laboratorio, caso contrario, la bolsa debe mantenerse abierta para favorecer el secado ambiental de la misma. Es necesaria la coordinación previa con el lugar de análisis (Chaves 2022e).

Debe evitarse mezclar muestras de diferente profundidad, campos recién encalados o fertilizados (al menos 1,5 meses), recién quemados, con acúmulo de materiales orgánicos (cachaza, estiércol, gallinaza, etc.), cenizas o residuos vegetales, cerca de

casas, bodegas, cercas, caminos, ríos, etc., cualquier condición que la aleje del resto de la unidad.

Para la determinación de la Densidad Aparente (se expresa en g/cm³ o kg/m³) como se comentará adelante, requiere de un procedimiento especial donde la muestra se debe tomar sin disturbar el suelo usando cilindros muestreadores de acero de volumen conocido (5-7,5 cm u otro). La DAp es la masa (peso) por unidad de volumen de un suelo seco; incluye el volumen ocupado por las partículas sólidas del suelo y el espacio poroso (macro y microporos) lo que la hace “Aparente”. La muestra se toma introduciendo el cilindro con golpes leves, frecuentes y constantes con el muestreador sin disturbar el suelo. Una vez que está lleno, se retira con un palín y con una espátula o navaja afilada se nivelan los dos extremos a ras del cilindro.

Luego se transfiere el suelo a un recipiente contenedor sin disturbar para enviar al laboratorio. Como materiales de trabajo se requiere contar con: cilindros muestreadores, martillo, palín, bolsas plásticas, espátula o navaja, marcador.



Toma de muestras para análisis de suelo

5.5.2.2. Indicador: Condición Físicoquímica del suelo

Es importante caracterizar y conocer con detalle la condición textural (contenidos % de arcilla, limo y arena) y los contenidos de macro (N, P, K, Ca, Mg, S) y micronutrientes esenciales (Zn, Cu, Fe, B, Mn) referentes y sus relaciones iónicas, calificadores del grado de fertilidad del suelo. También se determinará el contenido % de MO presente. Se recomienda tomar muestras siguiendo el procedimiento indicado en Punto 5.5.2.1, durante el mes de mayo con al menos dos muestras compuestas por PP a dos profundidades (0-20 y 20-40 cm), con una frecuencia en los años 1, 3 y 5 del pilotaje.

5.5.2.3. Indicador: Carbono Orgánico en el Suelo (COS) (t/ha)

El Carbono Orgánico del Suelo (COS) es una fuente e indicador de mitigación muy importante para la NAMA, pues permite estimar el contenido aproximado y grado de captura (secuestro) de CO₂ en el suelo. Se refiere al contenido de COS presente en una lámina de suelo de 30 cm de profundidad (IPCC 2006). La toma de muestras en las FP y PP seguirá los criterios anotados en el Punto 5.5.2.1 y se realizará al inicio de la implementación de la NAMA, repitiéndose en los años 3 y 5 (final), siempre en los mismos sitios, por lo cual deben ser georreferenciados con GPS durante el muestreo inicial.

El cambio medido y que se pueda percibir en los valores de COS por hectárea será extrapolada e integrada al área total y características diferenciadoras particulares de las fincas, localidades, zonas y regiones buscando afinidades. El agrupamiento de las regiones resultará en el cambio que se observe en el COS a nivel país. Seguidamente se adjunta una ficha técnica con los detalles asociados con dicho indicador.



Cuadro 8.

Ficha para el indicador Captura de Carbono Orgánico en el Suelo (COS).

Indicador	Captura de Carbono Orgánico en el Suelo
Definición conceptual	Es la cantidad de carbono que está almacenado en el suelo y medible por técnicas de laboratorio mediante combustión seca en un equipo Dumas (FAO 2019). Estimación de las toneladas métricas de Carbono fijado en el suelo a partir de muestras tomadas en el campo en plantaciones de caña de azúcar y analizadas en laboratorio.
Forma de cálculo	Ecuación 1: Cálculo del carbono Orgánico en el Suelo (COS) $CO_{suelo} = C_s * L_s * DA * 10^4$ Dónde: CO _{suelo} = Carbono Orgánico Suelo (Mg ha ⁻¹ - t/ha) C _s = Concentración de carbono en el suelo (g/g) (partículas exclusivamente de suelo < 2 mm). L _s = Lámina de suelo (30 cm) DA = Densidad Aparente (g/cm ³) Factor C a CO ₂ = 44/12 = 3,67 Fuente o referencia: LEAP 2018.
Componentes involucrados en la forma de cálculo	Cantidad de Carbono fijado y unidad de área sembrada con caña de azúcar. Detalles de muestreo: • Profundidad: 0-20 y 20-40 cm • Tamaño (peso): 0,5 kg • Filtrado: Eliminar piedras y partículas de ≥ 2 mm
Unidad de medida	Toneladas métricas por hectárea (t/ha)
Lugar de muestreo	Parte media entre cepa de caña y centro del entresurco (FAO 2019)
Interpretación	Mide el potencial de captura de Carbono, la dinámica del Carbono durante el ciclo del cultivo y la efectividad de labores de mitigación orientadas a favorecer la captura en el suelo.
Desagregación	Regional: por cada región productora de acuerdo a la división territorial definida por LAICA. Nacional: corresponde a la suma total de la producción regional.
Línea base	0 (no se han iniciado mediciones).
Meta	560 mediciones por año (2 muestras, 2 parcelas, 2 profundidades, 70 PP); 1.680 muestras en 5 años (1, 3 y 5)
Periodicidad	Annual con ejecución en mes de mayo, lo que implica 6 mediciones iniciando en 2023 + piloto
Fuente	Técnicos de DIECA y reportes de análisis de laboratorios especializados.

5.5.2.4. Carbono Orgánico en componente arbóreo (t/ha)

En la caña de azúcar virtud de su carácter extensivo, siempre quedan áreas donde resulta difícil o poco estratégico establecer plantaciones comerciales competitivas y rentables, razón por la cual se estima oportuno aprovecharlas con fines forestales o frutícolas para aumentar la captura de CO₂ y elevar la capacidad de mitigación de la unidad productiva. También se cuenta en muchos casos con zonas arbóreas y boscosas (compactas) o arboledas dispersas que pueden ser repobladas e incorporadas con el mismo fin, como se anota a continuación.

5.5.2.4.1. Indicador: Carbono Orgánico en áreas boscosas compactas (t/ha)

Se refiere a las áreas de bosque secundario o plantaciones forestales existentes en las FP, donde será estimada la captura de Carbono expresada en toneladas (t). La estimación de captura se realizará con base en publicaciones científicas referenciadas en datos de crecimiento de las mismas especies forestales identificadas en las fincas de productores de caña de azúcar. Es de gran valor levantar un inventario con la cantidad y tipo de especies presentes en el lugar.

El monitoreo de este sumidero será anual midiendo la evolución de las áreas boscosas mediante Sistemas de Información Geográfica (SIG) y la técnica de muestreo por puntos ubicados sobre imágenes aéreas. Los resultados obtenidos por el sistema MRV en las FP se extrapolarán al área total de la actividad cañera de cada región. La forma de cálculo se anota en el Cuadro 9.



Cuadro 9.

Ficha para el indicador Captura de Carbono por áreas boscosas compactas.

Nombre del indicador	Captura de Carbono por áreas boscosas compactas
Definición conceptual	Inventario de las áreas de bosque secundario o plantaciones forestales existentes en las fincas cañeras. Se estima la captura de Carbono en toneladas métricas (t). Se utilizarán publicaciones científicas con datos de crecimiento del bosque.
Forma de cálculo	Ecuación 2: Cálculo para la remoción anual en fincas $CO_{2eq} BS = ABSF * MSBS * 0,5 * \left(\frac{44}{12}\right)$ Donde: CO _{2eq} = Dióxido de Carbono equivalente removido en el bosque secundario (t CO _{2eq} finca-año ⁻¹) ABSF = área total de bosque secundario protegido (ha) MSBS = aumento en el contenido de materia seca observado en el bosque secundario por año (t ha ⁻¹ año ⁻¹). Se toma la información de la bibliografía correspondiente 0,50 = contenido de carbono de la biomasa (materia seca) del bosque (%) 44 = peso molecular del CO ₂ 12 = peso molecular del Carbono Fuente o referencia: IPCC. 2006. IPCC. 2019. Russo, R. 2009.
Componentes involucrados en la forma de cálculo	Dióxido de Carbono equivalente removido (t ha ⁻¹ año ⁻¹) en el bosque secundario; área total de bosque secundario protegido (ha); aumento en el contenido de materia seca observado en el bosque secundario (t ha ⁻¹ año ⁻¹); información de la bibliografía correspondiente; contenido de carbono de la biomasa (materia seca) del bosque (%); peso molecular del CO ₂ ; y peso molecular del C.
Unidad de medida	Toneladas de carbono por hectárea por año (t ha ⁻¹ año ⁻¹).
Interpretación	Medida de la cantidad de Carbono que remueven las áreas boscosas compactas
Desagregación	Regional: por cada región productora de acuerdo a la división territorial definida por LAICA. Nacional: corresponde a la suma total de la producción regional.
Línea base	0 (no se han iniciado mediciones).
Meta	Para establecer la meta se debe realizar un inventario de las áreas boscosas actuales y las toneladas de CO _{2eq} fijadas actualmente.
Periodicidad	El monitoreo de este sumidero será periódico con plazo de 1 año, permitirá medir la evolución de las áreas boscosas utilizando herramientas de Sistemas de Información Geográfica (SIG) y la técnica de muestreo por puntos sobre imágenes aéreas.
Fuente	Calvo y Hamilton (2020).

Cuadro 10.

Ficha para el indicador Captura de Carbono por árboles dispersos.

5.5.2.4.2. Indicador: Carbono Orgánico en árboles dispersos (t/ha)

Este indicador se refiere al caso de árboles creciendo en forma aislada en cercas, a orillas de caminos, veredas y cualquier otra condición forestal no compacta. Igual que en el caso anterior y con el fin de estimar (t) la captura de Carbono por este componente es importante levantar un inventario que revele la cantidad y calidad de especies presentes. Deberá medirse el Diámetro a la Altura del Pecho (DAP) y Altura del Fuste para estimar el potencial de captura.

La evaluación de campo se realizará en plazos anuales con el fin de actualizar la condición de la población de árboles dispersos utilizando herramientas SIG y la técnica de muestreo por puntos sobre imágenes aéreas. En casos calificados donde esos instrumentos no aporten la resolución necesaria deberá obligadamente acudir a evaluaciones de campo.

Se realizará un inventario inicial detallado que estime la cantidad de árboles dispersos en la finca para determinar si el aporte es significativo o no, obviándolo caso sea poco relevante. Los resultados obtenidos por el Sistema MRV en las FP se extrapolarán al área total de la actividad cañera desarrollada en cada región. El Cuadro 10 expresa la forma de cálculo.



Nombre del indicador	Captura de carbono por árboles dispersos
Definición conceptual	Inventario de árboles aislados, creciendo en cercas, a orillas de caminos, y cualquier otra condición que no sea de manera compacta. Se estima la captura de Carbono en toneladas métricas (t). Se utilizarán publicaciones científicas con datos de crecimiento del bosque.
Forma de cálculo	Ecuación 3. Cálculo del volumen del fuste $V = DAP^2 * 0,7854 * A$ Ecuación 4. Cálculo del Carbono en el fuste $CF = V * 0,47$ Ecuación 5. Cálculo del Carbono en la biomasa total del árbol C $A = CF * 1,5$ Ecuación 6. Cálculo del Dióxido de Carbono equivalente del árbol $CO_{2eq} \text{ árbol} = CA * 3,67$ Fuente o referencia: Russo, R. (2009).
Componentes involucrados en la forma de cálculo	Ecuación 3. Cálculo del volumen del fuste V = volumen del fuste (m ³) DAP = diámetro a la altura del pecho, aproximadamente 1,0 m (m) A = altura del árbol (m) 0,7854 = constante A = altura del árbol (m) 0,7854 = constante Ecuación 4. Cálculo del Carbono en el fuste CF = Carbono contenido en el fuste, V= volumen del fuste (m ³) 0,47 = contenido de Carbono en la materia seca de la madera Ecuación 5. Cálculo del Carbono en la biomasa total del árbol CA = carbono total contenido en la biomasa del árbol CF= Carbono contenido en el fuste 1,5 = factor de expansión por raíces, hojas, ramas. Ecuación 6. Cálculo del Dióxido de Carbono equivalente del árbol CA = Carbono total en la biomasa del árbol, CO _{2eq} 3,67 = relación peso molecular de CO ₂ /C (44/12)
Unidad de medida	Toneladas de Carbono por hectárea por año (tCO _{2eq} ha ⁻¹ año ⁻¹).
Interpretación	Medida de la cantidad de Carbono que remueven los árboles dispersos
Desagregación	Regional: por cada región productora de acuerdo a la división territorial definida por LAICA. Nacional: corresponde a la suma total de la producción regional.
Línea base	0 (no se han iniciado mediciones).
Meta	Para establecer la meta se debe realizar un inventario de las áreas boscosas actuales y las toneladas de CO _{2eq} fijadas actualmente.
Periodicidad	El monitoreo de este sumidero será periódico con plazo de 1 año, permitirá medir la evolución de las áreas boscosas utilizando herramientas de Sistemas de Información Geográfica (SIG) y la técnica de muestreo por puntos sobre imágenes aéreas.
Fuente	Calvo y Hamilton (2020).

5.6. Emisiones GEI (t CO₂eq)

La medición de emisiones constituye sin duda una de las acciones más importantes y determinantes por realizar, pues permitirá cuantificar y estimar las cantidades de GEI generadas y emitidas a partir de las fuentes directas identificadas durante la etapa de recolección de Datos de Actividad (DA), empleadas en el diseño de la LB. Considerando la gran dinámica de la actividad productiva es factible que a futuro se incorporen otras fuentes adicionales de emisión que pudieran ser identificadas durante la implementación del PLP.

Como principio general se aplicará el método de generación de información indicado en el Cuadro 11.

Cuadro 11.

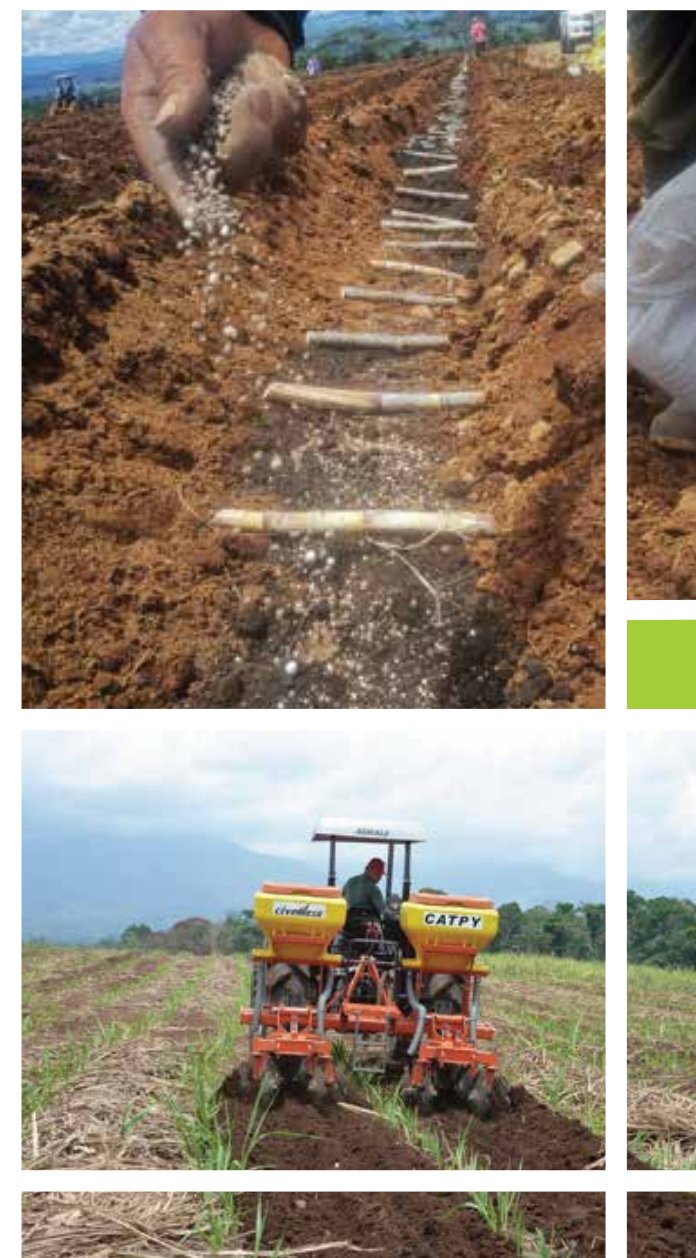
Mecanismo para la generación de Datos de Actividad.

Levantamiento de información	Reporte de Información	Método de reporte	Verificación de la calidad de los datos
La información la proporciona directamente el productor que participa del pilotaje	El reporte de la información se realizará inmediatamente después de las actividades del cultivo	Se reportarán mediante un sistema de aplicación móvil.	La calidad de los datos será verificada por los técnicos de DIECA mediante solicitud de evidencias de la actividad.

La información y datos por recolectar y reportar deberán ubicarse y consignarse por plantación de acuerdo con su ciclo y estado vegetativo, como: caña planta (semilleros, nueva o renovada) y caña soca (semilleros). Los de mayor interés serán los siguientes:

5.6.1. Indicador: Fertilizantes (t CO₂eq)

Como fue oportunamente informado, el Óxido Nitroso (N₂O) generado por los fertilizantes nitrogenados y materiales orgánicos aplicados al suelo representa la mayor fuente de emisión en el caso de la fase primaria (agrícola) de la caña de azúcar, lo que obviamente obliga a su estimación total. Dichas emisiones serán reportadas como Dióxido de Carbono equivalente y expresado en toneladas (t CO₂eq). Para la estimación se recolectarán datos de compras de fertilizantes (cantidad de sacos, facturas de compra, inventarios, etc.), registros de aplicación, fórmulas, dosis aplicadas (kg/ha), época de aplicación, áreas cubiertas (ha) por fuente y fórmula aplicada y métodos de aplicación utilizados, caracterización fisicoquímica del suelo y condiciones climáticas prevalecientes en el lugar.



Siembra y fertilización de plantaciones.

Los DA se recopilarán mensualmente justo los días siguientes a realizar la aplicación de los fertilizantes en el campo (lo cual se realiza a la siembra y 1-2 veces caso se fraccione durante el ciclo de crecimiento de la plantación) y también respecto a la aplicación de agroquímicos para el control de malezas (se realiza 2 veces al año). Para operar dicha acción el productor contará con formularios (Cuadro 12) apropiados que podrá utilizar inicialmente como borrador para luego registrar la información que trasladará a la aplicación que se instalará en los dispositivos móviles (App).

Cuadro 12.

Formulario para la recolección de datos de fertilización en las áreas del Plan Piloto del NAMA Caña de Azúcar.

Nombre o razón social:					
Región:		Provincia:			
Cantón:		Distrito:			
Localidad:					
Dirección exacta:					
Tipo plantación (semilleros, nueva, renovada, soca)	Fecha aplicación	Fórmula	Cantidad (sacos)	Área (ha)	Método (manual, mecánico)

La emisión en este factor se calculará contabilizando los componentes nitrogenados de todos los fertilizantes empleados, conociendo el área intervenida y utilizando los factores de emisión establecidas por el IPCC o disponibles y generados en el país (IMN 2021).

En consideración del incuestionable y determinante efecto e impacto que ejerce la utilización de los fertilizantes nitrogenados en la emisión de N₂O en el caso de la caña de azúcar, como fue comprobado por el presente estudio; se considera trascendente y pertinente recomendar durante la fase de pilotaje, la ejecución y el desarrollo de investigaciones de campo que aporte información relevante al respecto. Dichos estudios consisten en la evaluación de Fuentes y Dosis de nitrógeno en tres importantes regiones productoras de caña: Guanacaste (Cañas-Carrillo), Zona Norte (San

Carlos-Los Chiles) y Valle Central (Grecia), seleccionadas por ser muy representativas de los entornos agroproductivos donde se produce caña en Costa Rica.

Las investigaciones, que determinarían la emisión del N₂O, evaluarían al menos cuatro fuentes nitrogenadas: nitrato de amonio, urea convencional, urea revestida o recubierta con polímero y fertilizante estabilizado de liberación lenta o controlada (Inhibidor de ureasa o nitrificación); otras opciones comerciales pueden ser también consideradas y evaluadas. En cuanto a dosis se sugiere trabajar con cinco dosis: 0-40-80-120-180 kg de N/ha por cubrir el espectro de respuesta nacional del cultivo a ese nutrimento. Se recomienda emplear un diseño experimental apropiado con tres repeticiones. Las evaluaciones de N₂O en el laboratorio se realizarían en los años 1, 3 y 5.

El protocolo de trabajo y los elementos por valorar deben ser muy bien definidos y conceptualizados considerando aspectos técnico-científicos propios de la evaluación, así como también aspectos técnicos relevantes del cultivo y de la representatividad de las condiciones donde se realizarían los ensayos; sin olvidar la obtención de resultados agroindustriales de utilidad práctica para el productor. Por la cantidad de muestras y oneroso de los análisis implicados, es recomendable tener mesura y mucha prudencia en la proyección que se haga de estos estudios.

Es también importante habilitar el desarrollo de estudios que muestren el avance del NAMA en su fase de implementación, valorado en términos de los logros que se van sucesivamente alcanzando relacionados directamente con la mitigación. Para ello se requiere realizar estudios de Ciclo de Vida de la actividad primaria del cultivo, lo que permitirá obtener una visión global y comparativa de los resultados de la tecnología NAMA implementada y la del productor de caña de azúcar involucrado.

Estos estudios incluirían todo lo relacionado con la emisión de GEI, así como también el Carbono capturado en los diferentes componentes del sistema finca productora de caña; además, se relacionarían dichos DA con la producción y rentabilidad del sistema agroproductivo. Los resultados permitirían mostrar las bondades ambientales-productivas-económicas conceptualizadas como ecoeficiencia y eco-competitividad, de las acciones NAMA implementadas durante el proceso productivo primario de la caña de azúcar. El documento técnico-científico generado como resultado de estos estudios serán de gran apoyo y utilidad para la toma de decisiones oportunas y efectivas relacionadas al posible redireccionamiento, si es que fuera necesario realizar, o bien la continuación y Escalamiento de la NAMA Caña de Azúcar.

5.6.2. Indicador: Abonos orgánicos y otras enmiendas orgánicas (t CO₂eq)

Los materiales y abonos de contenido orgánico también liberan N₂O y CH₄ durante su mineralización; los cuales serán medidos y convertidos a Dióxido de Carbono equivalente expresado en toneladas (t CO₂eq) como lo señala Chaves (2021abc).

Para la estimación se deben recolectar datos de compras de abonos (cantidad de sacos, origen, facturas de compra, inventario), disponer información sobre registros de aplicación, análisis y contenidos químicos de los abonos, dosis aplicadas (kg/ha), época de aplicación, áreas cubiertas (ha) por tipo aplicado y métodos de aplicación, caracterización fisicoquímica del suelo y condiciones de clima prevalecientes.

Cuadro 13.

Formulario para la recolección de datos de aplicación de abonos orgánicos en las áreas del Plan Piloto de la NAMA Caña de Azúcar en Costa Rica.

Nombre o razón social:					
Región:		Provincia:			
Cantón:		Distrito:			
Localidad:					
Dirección exacta:					

Tipo plantación nueva, renovada, soca)	Fecha aplicación	Tipo de abono orgánico	Cantidad		Área (ha)	Método (manual, mecánico)
			Sacos	Toneladas (t)		

La emisión de los componentes nitrogenados de los abonos se calculará considerando los factores de emisión pregonados por el IPCC o disponibles y generados en el país (IMN 2021).

Las fórmulas para cuantificar las emisiones de N₂O, son las siguientes:

Las fórmulas para cuantificar las emisiones de N₂O, son las siguientes:

Ecuación 7: Cálculo de las emisiones de N₂O

$$N_2O_{Directo - N} = N_2O - N_{N\ inputs}$$

Fuente: IPCC (2006)

Donde:

N₂O_{Directo - N} = Emisiones anuales directas de N₂O-N producido en los suelos manejados (kg N₂O-N año⁻¹).

N₂O-N_{N inputs} = Emisiones anuales directas de N₂O-N procedente de insumos de N aplicados a suelos manejados (kg N₂O-N año⁻¹).

Ecuación 8: Cálculo de las emisiones anuales directas de N₂O de insumos de N aplicados a suelos manejados

$$N_2O - N_{N\ inputs} = (F_{SN} + F_{ON} + F_{CR}) * EF_1$$

Fuente: IPCC (2006)

Donde:

F_{SN} = Cantidad anual de fertilizante N sintético aplicado a los suelos (kg N año⁻¹).

F_{ON} = Cantidad anual de abono, compost, lodo residual, biocarbón y otras adiciones de N orgánico-aplicados al suelo (Nota: Si se incluye lodo residual, verificar con el Sector de Residuos para asegurarse que no hay una doble contabilización de emisiones de N₂O del N en el lodo residual) (kg N año⁻¹).

F_{CR} = Cantidad anual de N presente en residuos de cosecha (sobre el piso y bajo el piso), incluyendo cultivos fijadores de N devuelto al suelo (kg N año⁻¹).

EF₁ = Factor de emisión para emisiones de N₂O de insumos de N (kg N₂O-N año⁻¹ (kg N insumos)⁻¹).

Considerando que se cuenta con información nacional, los factores de emisión empleados serán los citados en el Cuadro 14 según región productora de caña de azúcar.

Cuadro 14.

Factores de emisión de GEI para fertilizantes, abonos orgánicos y otras enmiendas orgánicas que contienen Nitrógeno.

Región productora	Índice de emisión Kg N ₂ O-N ha ⁻¹ a ⁻¹
Zona Norte	2,53 ± 0,88
Zona Sur	2,87 ± 1,02
Turrialba-Juan Viñas	2,98 ± 1,07
Guanacaste	3,09 ± 1,12
Valle Central	3,21 ± 1,17
Puntarenas	3,66 ± 1,36
Nacional	3,06 ± 1,10

Fuente: : Montenegro y Chaves (2012).

5.6.3. Indicador: Enmiendas correctivas de acidez (t CO₂eq)

Se estimarán las emisiones totales de Dióxido de Carbono emitidas por las fuentes encalantes empleadas para corregir la acidez del suelo expresadas en toneladas (t CO₂eq). Para ello se deberá contar con registros de compras de materiales encalantes (facturas de compra, inventario), registros de aplicación, fuentes, cantidades incorporadas, frecuencia de aplicación, datos de la calidad de los materiales, índice de Porcentaje Relativo de Neutralización Total (PRNT), época en que se aplica, áreas tratadas y métodos de incorporación, caracterización fisicoquímica del suelo, condiciones de clima prevalecientes.

Cuadro 15.

Formulario para la recolección de datos de aplicación de enmiendas correctivas de acidez en los suelos de las áreas del Plan Piloto de la NAMA Caña de Azúcar.

Nombre o razón social:

Región:

Provincia:

Cantón:

Distrito:

Localidad:

Dirección exacta:

Tipo plantación nueva, renovada, soca)	Fecha aplicación	Tipo de enmienda	Cantidad		Área (ha)	Método (manual, mecánico)
			Sacos	Toneladas (t)		



Aplicación de enmiendas correctoras de acidez al suelo.

En este acápite los datos de emisiones se calcularán a partir de la calidad de los materiales encalantes utilizados, esto en referencia a su contenido de carbonatos, óxidos o hidróxidos que contribuyan con las emisiones de GEI, y aplicando los factores de emisión vigentes establecidos por el IPCC. En este particular es importante contar con el análisis de laboratorio (químico y granulométrico de partículas) de las fuentes de encalado para calcular con mayor precisión su grado de calidad y el aporte potencial en las emisiones (Chaves 1993).

La fórmula por utilizar para realizar el cálculo de las emisiones (Cuadro 16) es la siguiente:

Ecuación 9: Cálculo de las emisiones de CO₂ por aplicación de enmiendas

$$CO_2 - C \text{ Emisión} = (M_{caliza} + EF_{caliza}) + (M_{dolomita} + EF_{dolomita})$$

Fuente: IPCC (2006).

Donde:

CO₂ - C Emisión = Emisión anual de C por aplicación de cal (t CO₂ año⁻¹).

M = Cantidad anual de carbonato de calcio (CaCO₃) o dolomita (CaMg(CO₃)₂), (t año⁻¹).

EF = Factor de emisión (t de CO₂ t de caliza o dolomita)⁻¹

Factores de Emisión según fuente:

Caliza = 0,12 t CO₂-C t⁻¹

Dolomita = 0,13 t CO₂-C t⁻¹

5.6.4. Indicador: Hidrocarburos (t CO₂eq)

Este es un factor de emisión de gases (CO₂, CH₄, N₂O) muy importante para cuya estimación se deberán recabar los datos de compra de combustibles, tipo y uso de

acuerdo con las prácticas particulares y específicas de cultivo del momento. Los datos deberán consignarse en litros por hectárea (l/ha) para las prácticas y labores de atención del cultivo y en litros por tonelada (l/t) en las correspondientes a cosecha (Cuadro 16). Los DA y la información recolectada deberá permitir y facilitar la estimación de estos índices.



Preparación y manejo mecanizado.

Lo concerniente a prácticas agrícolas de preparación del suelo y siembra, la recopilación de DA se realizará durante la misma hasta su final, lo que incluye tanto las horas destinadas a cada labor, área preparada y consumo de combustible en cada una de ellas.

En relación con la siembra, se contabilizará tanto el transporte medido en horas (h) como en distancia (km), así como el gasto de combustible (l). La recopilación de esta información se dará durante esta labor y hasta finalizar la misma. A partir de los datos recopilados se generarán valores promedio por hectárea para cada una de las actividades implicadas que requieran equipos que utilizan hidrocarburos (diésel, gasolina).

Cuadro 16.

Formulario para la recolección de datos de consumo de combustibles en las labores de establecimiento y mantenimiento del cultivo en las áreas del Plan Piloto de la NAMA Caña de Azúcar.

Labor / Actividad	Equipo	Tamaño de motor (HP)	Tipo de combustible	Gasto combustible (l/hora)	Gasto combustible (L/ha)	Área (ha)	Horas/ha
Nivelación							
Subsolado							
Escarificación							
Arada							
Rastrea							
Surcada							
Desaporca/aporca							
Escardillo							
Tapado de semilla							
Riego/drenaje							
Transporte de tubería (riego)							
Aplicación de herbicidas							
Aplicación de fungicidas							
Aplicación de insecticidas							
Aplicación de inhibidores de floración							
Aplicación de madurantes							
Otro (bueyes, etc.)							
Transporte de agua / agroquímicos							
Aplicación de fertilizantes							
Transporte de fertilizantes a finca							
Transporte de fertilizantes dentro de finca							
Aplicación de cal							
Transporte de cal a finca							
Transporte de cal dentro de finca							
Aplicación de abonos orgánicos							
Transporte de abonos orgánicos a finca							
Transporte de abonos orgánicos dentro de finca							
Movilización de personal de campo							

Con el objeto de contar con una mayor especificidad que favorezca las estimaciones e inferencias correspondientes, los DA de cosecha serán recabados, organizados y analizados de manera específica para las labores implicadas en la corta, carga y transporte de la materia prima al ingenio para su procesamiento (Fotografías 9 y 10), como indica el Cuadro 17.

Cuadro 17.

Formulario para la recolección de datos de consumo de combustibles en las labores de cosecha en las áreas del Plan Piloto de la NAMA Caña de Azúcar.

Labor / Actividad	Cantidad de viajes	Capacidad de viaje (t)	Distancia (km)	Área (ha)	Horas de trabajo	Caña cosechada/transportada (t)	Combustible L
Cosechadora integral							
Tractor con autovolteo							
Camión, cabezal con remolques							
Cargadora							
Tractor con carretas							
Camión, cabezal con remolques							
Transporte desde centro de acopio al ingenio							
Otro (bueyes, etc.)							
Ferrys							

La fórmula para realizar el cálculo de las emisiones por uso de combustibles es la siguiente:

Ecuación 10: Cálculo de las emisiones de CO₂ por uso de combustibles fósiles

$$CO_{2HC} \text{ Emisión} = HCI * EF$$

Fuente: IPCC (2006).

Donde:

CO₂ - C Emisión = Emisión anual de CO₂ (t CO₂ año⁻¹).

HC I = Cantidad de hidrocarburo consumido (litros).

EF = Factor de Emisión.

Los Factores de Emisión por utilizar se toman a partir de los índices propuestos por el IMN y anotan en el Cuadro 18.

Cuadro 18.

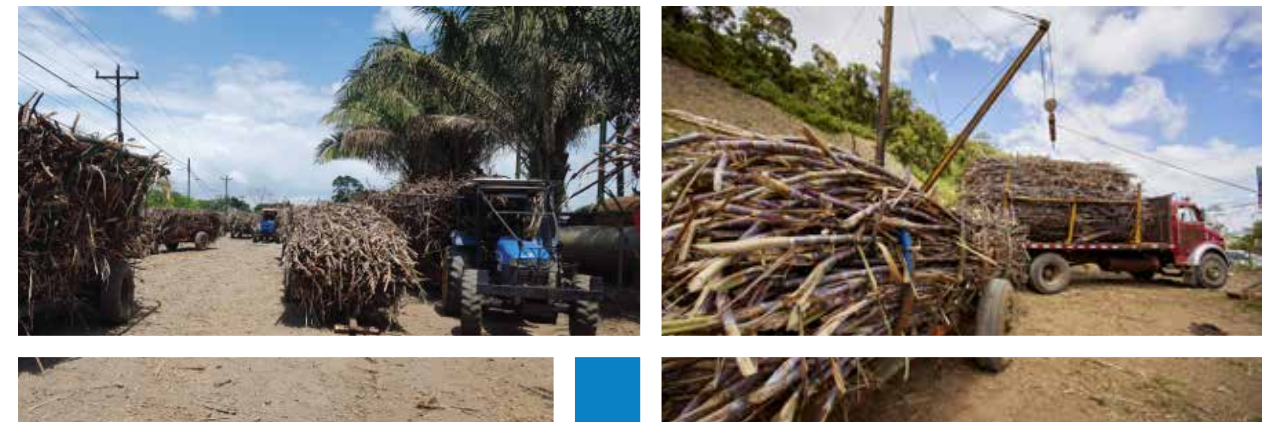
Factores de emisión de GEI para hidrocarburos.

Combustible	FE CO ₂	FE N ₂ O	FE CH ₄
	kg CO ₂ / l combustible	kg N ₂ O / l combustible	kg CH ₄ / l combustible
Gasolina	2,231	0,116	1,176
Diésel	2,613	0,154	0,149

Fuente: IMN (2021).



Cosecha manual y mecanizada de plantaciones.



Transporte de caña para procesamiento en el ingenio.



6. Eficiencia Productiva-Ambiental

Es necesario contar con indicadores efectivos que relacionen y expliquen eficientemente lo que sucede en el campo al implementar la NAMA, esto por cuanto la mejora tecnológica incorporada es de esperar incrementen la producción de biomasa por unidad de superficie, medida por el indicador 5.5.1 referenciado como “Producción de biomasa (t/ha)”, lo que consecuentemente también tendría un efecto en la emisión de GEI medida por los indicadores incluidos en el apartado 5.6 “Emisiones GEI (t CO₂eq)”

Existe una relación directa entre producción y ambiente asociada con el cambio climático, la cual está vinculada a la emisión de GEI. Esta circunstancia obliga disponer de indicadores que midan la eficiencia del proceso de producción agroindustrial en términos del uso del nitrógeno (kg de N aplicado/tonelada de caña producida), la eficiencia productiva de emisión (medida por las toneladas de CO₂eq emitidas/tonelada de caña producida), la eficiencia de emisión (expresada por las toneladas de CO₂eq/ tonelada de azúcar producida) y la eficiencia económica de emisión (toneladas de CO₂eq/ millón de colones en ingreso). Dichos indicadores detallan las relaciones individuales entre producción, emisión e ingresos económicos. Debe existir, por tanto, una razonable proporcionalidad entre lo que se aplica, y se produce. Seguidamente se explica el alcance de estos indicadores, pudiendo en el transcurso del pilotaje incluir otros también válidos.

6.1. Indicador: Uso de nitrógeno (kg de N aplicado/ t caña producida)

Este indicador muestra la eficiencia de asimilación y utilización del N aplicado al suelo con los fertilizantes durante el proceso agroproductivo y de crecimiento de las plantas. Corresponde al total de N aplicado (kg) por unidad de área (ha) dividido entre la producción de tallos cosechados (t/ha) obtenida en esa misma unidad de área.

6.2. Indicador: Eficiencia productiva de emisión (t CO₂eq emitidas/ t caña producida)

Esta variable establece por su parte una relación directa entre la cantidad de CO₂eq emitido a la atmósfera por unidad de área (ha) dividido entre el total de la producción de caña industrializable obtenida por unidad de área (t/ha). Es un referente importante y muy pragmático para evidenciar la proporcionalidad de las medidas incorporadas en lo productivo y lo ambiental.

6.3. Indicador: Eficiencia de emisión (t CO₂eq/ t azúcar producida)

Este indicador opera igual que el anterior, excepto que en vez de referenciar la cantidad de caña industrializable (rendimiento agrícola), emplea la cantidad de azúcar extraída expresada en t/ha, lo que involucra virtud de su carácter combinado también el rendimiento industrial (kg de sacarosa/t caña), como se anotó y explicó en el Punto 5.2.4.

6.4. Indicador: Eficiencia económica de emisión (t CO₂eq/ millón de colones en ingreso)

Por medio de este comparador es viable y factible establecer una interesante y válida relación de alcance económico-ambiental; donde se vincula y establece la proporcionalidad entre las toneladas de CO₂eq emitidas por cada millón de colones percibidos como ingreso final por la caña entregada (t), sacarosa contenida (kg/t caña) y miel (kg) recuperada en el ingenio.

7. Balance de GEI del pilotaje nacional (t CO₂eq)

Corresponde a la relación que se establece entre la cantidad de GEI que se emite en el proceso productivo primario y la cantidad de Carbono que se fija en los diferentes componentes (suelo, arbóreo), dado en toneladas de CO₂ equivalente por año.

7.1. Cálculo de la captura de Carbono (t CO₂q)

El secuestro o captura de Carbono en el sistema de producción de la caña de azúcar está representado por el incremento del COS (Punto 5.5.2.3) y del Carbono en el componente arbóreo, ya sea este en áreas boscosas compactas como también en árboles dispersos (Punto 5.5.2.4). El indicador esta dado en toneladas de CO₂ equivalentes y su medición y lectura es anual.





Captura y fijación de carbono por sistema productivo de caña de azúcar.

7.2. Cálculo de las emisiones GEI (t CO₂eq)

Las emisiones de GEI generadas en la finca se expresan en toneladas de CO₂eq/año, siendo necesario para estimar y conocer el valor de estas hacer la medición en sus fuentes de origen, como son el uso de fertilizantes nitrogenados (N₂O), enmiendas y abonos orgánicos (N₂O, CH₄), enmiendas correctoras de la acidez del suelo (CO₂) y el uso de hidrocarburos (CO₂, CH₄, N₂O) por la combustión internas en actividades agrícolas y de transporte.

La suma de todas esas fuentes constituye la emisión total de GEI (t CO₂eq).

7.3. Cálculo del balance (t CO₂eq)

Como se anotó anteriormente en el Punto 7, el balance de gases corresponde a una relación aritmética simple de captura y emisión, cuyo término está dado por la siguiente ecuación:

Ecuación 11: Cálculo del balance de emisiones

$$B = E - C$$

Donde:

B = Balance total de emisiones de GEI (t CO₂eq año⁻¹).

E = Emisiones anuales de CO₂eq (t CO₂eq año⁻¹) derivadas del uso de fertilizantes nitrogenados (N₂O), enmiendas y abonos orgánicos (N₂O, CH₄), enmiendas correctoras de la acidez del suelo (CO₂), y el uso de hidrocarburos (CO₂, CH₄, N₂O).

C = Captura de Carbono procedente del suelo, y del componente arbóreo (t CO₂ año⁻¹).

Dependiendo de la eficiencia que muestren las tecnologías empleadas e implementadas por el PLP, tanto la propia del agricultor como la recomendada por DIECA con aporte de mejoras técnicas orientadas a incrementar la productividad agroindustrial y reducir proporcionalmente la emisión de GEI, los valores del Balance de Gases pueden ser positivos (> 1), negativos (< 1) o cero como expresión de equilibrio.

8. Escalamiento

Lo señalado anteriormente corresponde a la fase inicial de Pilotaje del proyecto NAMA Caña de Azúcar y donde deberán implementarse todas las actividades previstas y estimar los indicadores indicados. La misma debe posteriormente complementarse con la fase de Escalamiento; consistente en un incremento significativo y en etapas sucesivas en la dimensión del área (hectáreas) intervenida con la tecnología sugerida y recomendada implementar en todas las seis regiones productoras de caña de azúcar del país.

El Pilotaje es una fase inicial de prueba y validación de las tecnologías que se considera pueden aportar ventajas en dos elementos fundamentales: 1) incrementar los índices de productividad agroindustrial del cultivo, y 2) reducir las emisiones totales de GEI (t CO₂eq año⁻¹) y con ello contribuir a mitigar el efecto provocado por esos gases sobre el calentamiento global y el CC. El abordaje e implementación de la mitigación en el Escalamiento adquiere alcances comerciales sobre el área comprometida sectorialmente intervenir.

8.1. Escenarios de mitigación

Para procurar alcanzar y satisfacer la meta aspiracional y los objetivos institucionales originalmente planteados, se plantearon tres escenarios viables y factibles de alcanzar y sobre los cuales se debe trabajar en la fase de Escalamiento. Para efectos comprensivos se consideró conveniente definir para cada una de las seis regiones cañeras e integralmente el país, tres escenarios sobre los cuales se desarrolló el trabajo de proyección y mitigación de las emisiones GEI, los cuales se definen como sigue:

- a. **Optimista:** procura alcanzar una reducción significativa en las emisiones de GEI sobre el estado actual de las fuentes principales de emisión identificadas (fertilizantes-N, combustibles fósiles, enmiendas), sin afectar negativamente y sin excluir la posibilidad de incrementar la productividad del cultivo.
- b. **Conservador:** baja en algún grado las emisiones, puede afectarse positivamente o no percibirse beneficios en la productividad esperada.
- c. **Intermedio:** estado intermedio (no promedio) entre óptimo y conservador que logra una reducción importante en emisiones sin excluir la posibilidad de que la disminución pueda ser superior respecto a la estimación realizada.

Dichos escenarios estarán sustentados en su acción pragmática de campo en medidas de mitigación específicas (Punto 8.4) para cada condición y entorno particular (región, zona, localidad, finca, sistema productivo) que se estime perti-

nente y conveniente intervenir; para lo cual las mismas deberán revisarse y ubicarse en ese mismo ámbito. Buscando una mayor aplicabilidad y certeza de éxito, los escenarios fueron definidos y diseñados particularmente para cada una de las seis regiones oficiales (LAICA 1998, 2000) productoras de caña de azúcar en el país; sumando adicionalmente otro con una perspectiva integradora de carácter nacional.

8.2. GEI mitigados (t CO₂eq)

De acuerdo con las estimaciones realizadas, se muestra en el Cuadro 19 que el sector primario de la actividad cañera en el periodo de 28 años continuos transcurrido entre las zafras del 2021-22 y la del 2049-50, la LB proyecta una emisión total acumulada nacional de 2.997,8 Gg de CO₂eq. (1 Gigagramo = 1.000 toneladas).

Al incorporar la resultante de la gestión prevista realizar y proyectada a los tres escenarios propuestos, dicha emisión se reduciría (Figura 7) a 2.626,8 Gg en la opción calificada como Optimista, a 2.844,3 Gg en la Intermedia y 2.939,8 Gg en la Conservadora; lo cual implica y significa dejar de emitir 370,9, 153,5 y 58,0 Gg de GEI a la atmósfera en cada una de las tres alternativas de mitigación propuestas desarrollar, respectivamente.

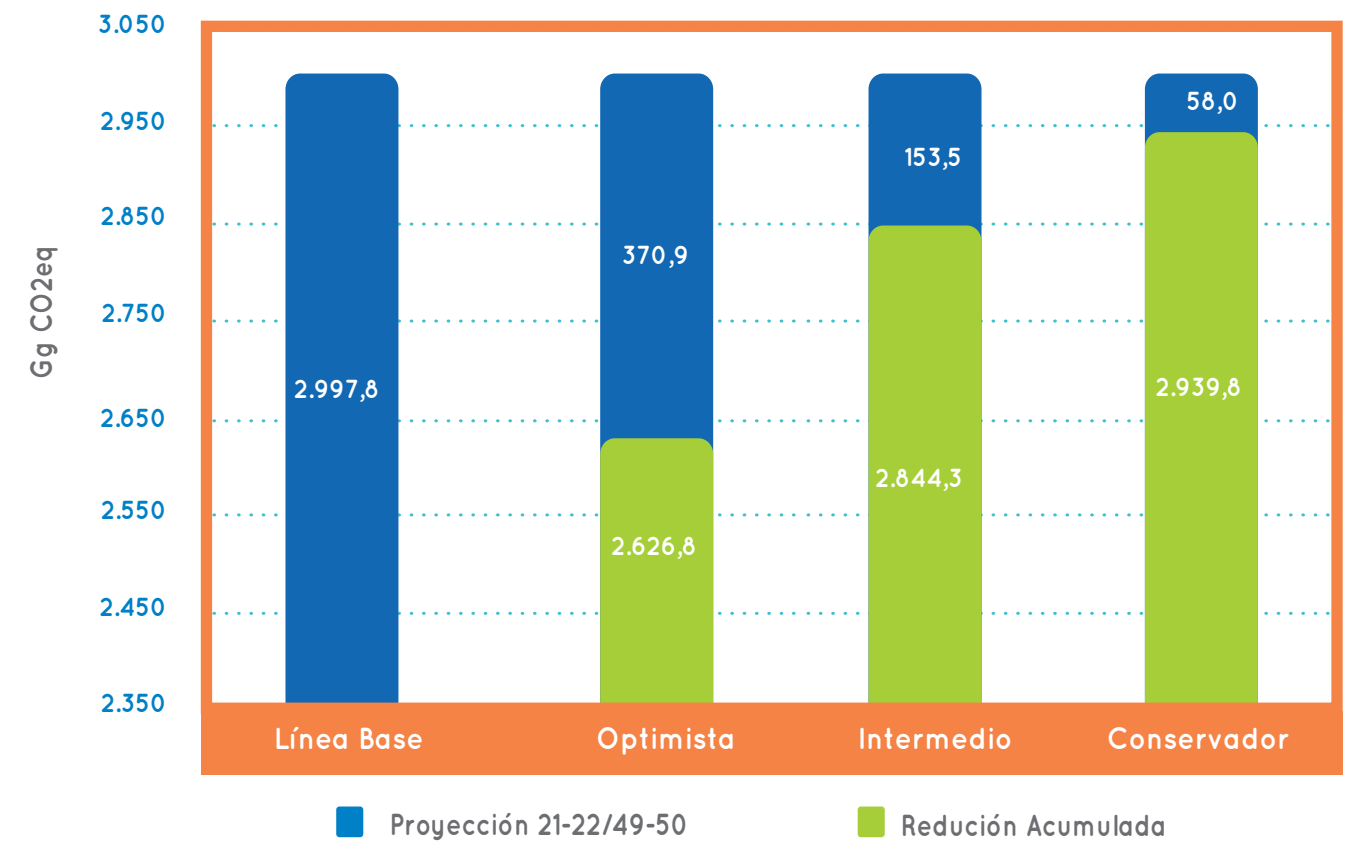


Figura 7.
Reducción acumulada de GEI según escenario propuesto



Con el fin de presentar de manera independiente los valores de mitigación expuestos y segregados por Fuente de Emisión para cada uno los tres Escenarios de Mitigación propuestos y región productora involucrada, proyectados a la zafra 2049-2050, se adjunta el Cuadro 19.

Cuadro 19.

Mitigación (Gg CO₂eq) lograda según Fuente de emisión y Escenario de mitigación por región productora. Periodo 2049-2050.

Región	Nitrógeno			Combustibles			Enmiendas		
	Escenario			Escenario			Escenario		
	Optimista	Conservador	Intermedio	Optimista	Conservador	Intermedio	Optimista	Conservador	Intermedio
Guanacaste	7,80	1,28	3,11	0,80	0,17	0,36	0	0	0
Pacífico Central	2,30	0,21	0,67	0,10	0,03	0,07	0	0	0
Valle Central	0,29	0,05	0,11	0,07	0,03	0,05	-0,01	-0,15	-0,05
Zona Norte	1,24	0,43	0,84	0,19	0,04	0,13	-0,02	-0,10	-0,02
Turrialba *	0,92	0,12	0,27	0,04	0,02	0,03	0,06	-0,10	0,10
Zona Sur	0,83	0,25	0,37	0,14	0,04	0,09	0,04	0,03	0,04
Costa Rica	13,37	2,34	5,36	1,35	0,33	0,72	0,07	-0,32	0,07

8.3. Tiempos de cumplimiento

En el Cuadro 20 y la Figura 8 se presenta un detalle con el alcance del plan y los programas específicos de implementación previstos desarrollar en cada etapa por un periodo continuo de 10 años transcurridos entre las zafras 2023/2024 y 2031/2032. Luego de ese periodo se mantendrá como mínimo el estado de mitigación propuesto implementar con posibilidades de incrementarse en sus alcances.

Hay que indicar que la operación pragmática del plan inicia en el año 2023 de contar con los recursos y las condiciones previstas y necesarias por razones obvias; circunstancia por la cual el 2022 es un periodo de organización, planificación y preparación. Esta etapa se compone, como se comentó oportunamente, de un PLP y tres fases sucesivas de Escalamiento en el tiempo, la cual inicia en el año 3 (2025).

Cuadro 20.

Metas de cumplimiento del proyecto NAMA Caña de Azúcar.

Etapas previstas	Tiempo estimado (años)	Inicio	Área	
			%	Hectáreas
Plan Piloto	5	2023	0,057	35
Primer Escalamiento	2	2025	5	3 068
Segundo Escalamiento	3	2026	25	15 167
Tercer Escalamiento	5	2028	45	27 300
Total	10		75,057	45 571

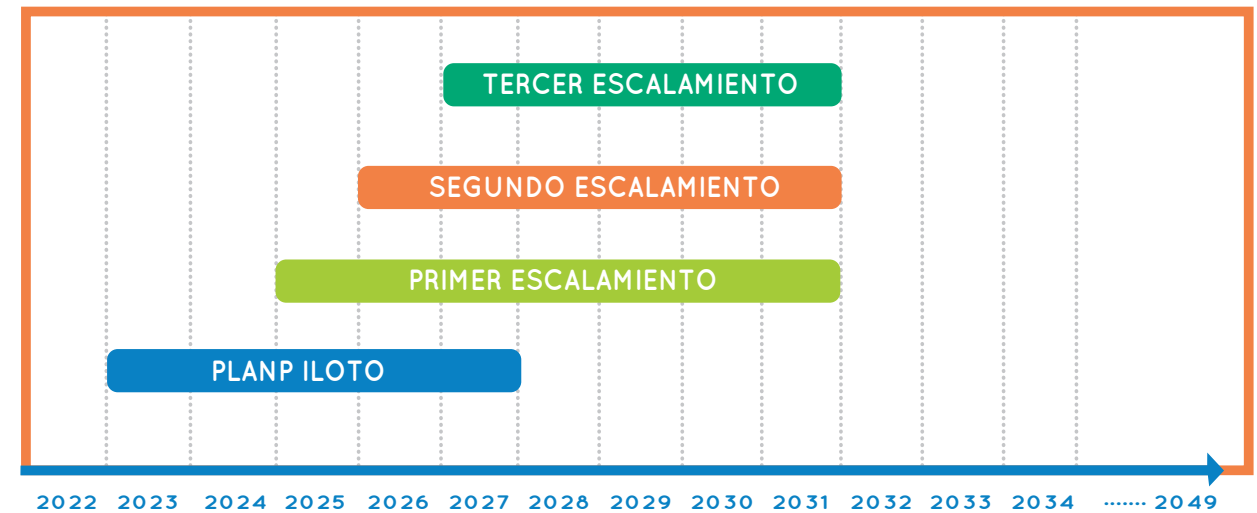


Figura 8.

Fases de implementación de la NAMA Caña de Azúcar.

8.4. Medidas de mitigación

En lo específico las acciones estratégicas previstas desarrollar de manera muy particular en cada una de las seis regiones, entornos y condiciones productoras de caña de azúcar en el país, orientadas a reducir y mitigar las emisiones de GEI e incrementar los índices de productividad agroindustrial, se concentran básicamente en revisar y actuar sobre 19 prácticas consideradas trascendentes vinculadas directamente con tópicos como los siguientes:

- a. **Optimizar el uso y manejo de los fertilizantes nitrogenados:** implica actuar propiamente sobre la práctica de la fertilización procurando incidir y decidir acciones orientadas a optimizar elementos como: fuentes, dosis aplicadas (kg/ha), momento fenológico, época del año, forma de aplicación (manual, mecánica, fraccionada, superficial, incorporada), entre otros.

- b. **Incrementar el uso de abonos orgánicos:** incorporar de manera complementaria (no suplementaria) materiales de origen orgánico de alta calidad con el fin de recarbonizar sistemáticamente el suelo.
- c. **Promover el uso y producción de abonos verdes:** promocionar, incentivar, apoyar y adiestrar técnicamente al agricultor a producir sus propios abonos usando materiales de la propia finca (compostaje).
- d. **Incrementar el uso de agentes biológicos, biofertilizantes, inoculación con bacterias y mejoramiento de la biomasa microbiana del suelo:** los bioinsumos constituyen un excelente complemento para acondicionar el medio y favorecer procesos como son la actividad microbiana, la mineralización de la materia orgánica, la Relación C/N y la recarbonización del suelo, orientados a incrementar el nivel de fertilidad del suelo.
- e. **Promocionar y optimizar el uso de enmiendas incorporadas al suelo:** las enmiendas particularmente los correctores de acidez resultan insumos necesarios de incorporar para acondicionar el suelo y favorecer la actividad biológica y la química nutricional del medio.
- f. **Enfoque y atención en prácticas de conservación de suelos que permitan su recarbonización y minimicen las pérdidas:** la adopción e incorporación de medidas y prácticas de conservación operadas mediante contención, mitigación, reducción y eliminación de pérdidas del suelo causadas por erosión (eólica, hídrica), lavado y arrastre resulta obligada para evitar perder la capa arable y fértil de la plantación.
- g. **Promocionar el uso y la incorporación de biocarbón (biochar) al suelo:** la incorporación de carbono orgánico resulta esencial como complemento para la recarbonización rápida del suelo con materiales de alta calidad. Debe procurarse incrementar y escalar la producción del producto.
- h. **Optimizar la preparación de los terrenos de cultivo:** esta práctica es imperativa e insoslayablemente necesario de revisar y regular evitando los excesos en todos los ámbitos, sea por empleo de equipos sobredimensionados en capacidad (Hp), uso de equipos y ejecución de labores innecesarias, forma, calidad y duración (h) de las mismas, tránsito excesivo de maquinaria en plantaciones, todo lo cual debe referenciarse a las características del entorno agroproductivo particular del lugar.

- i. **Fomento de la mínima labranza y/o cero labranza en el cultivo:** ésta modalidad de preparación de terrenos resulta muy apropiada de operar en algunas condiciones particulares de terreno y manejo de plantaciones. La práctica debe fomentarse.
- j. **Implementar sistemas de "Agricultura de Precisión" que aumenten la eficiencia de las prácticas agronómicas incorporadas (Agricultura 4.0):** la precisión en "sitio" es base fundamental de la adecuación, la mejora y la optimización en el uso de los recursos disponibles y la eficiencia en la ejecución de las prácticas y labores implementadas. La instalación e implementación de un sistema de precisión conlleva la recolección de datos de actividad representativos que den base y sustento a su adecuación.
- k. **Utilización de variedades de caña apropiadas a los entornos agroproductivos:** la variedad como factor indiscutible del éxito agroproductivo debe concentrar la atención y los esfuerzos técnicos, asegurando el empleo de materiales genéticos debidamente validados en campo y recomendados con base en su capacidad de adaptación (rusticidad), fitosanidad y potencial agroindustrial en el lugar.
- l. **Uso de semilla mejorada de alta calidad y pureza genética:** el material vegetativo empleado en el establecimiento de plantaciones comerciales debe sin objeción alguna, gozar de los mejores índices de calidad requeridos para aprovechar y expresar todo el potencial genético intrínseco de la variedad sembrada. Es recomendable el empleo de semilla básica originada a partir de semilla prebrotada o procedente de cultivo de tejidos in vitro. Es importante que el agricultor produzca su propia semilla.
- m. **Prolongación de la longevidad en el uso comercial de las plantaciones de caña:** este objetivo resulta determinante para el éxito productivo y económico de cualquier emprendimiento y proyecto agroempresarial; motivo por el cual su atención merece la obligada concentración e integración de esfuerzos técnicos en varios órdenes y factores como los apuntados anteriormente y que involucran suelo, variedad, semilla, manejo de plantaciones, equipos, etc. El logro de ese objetivo se fundamenta en la optimización integral y articulada de factores.
- n. **Manejo óptimo del recurso hídrico:** la experiencia dicta que sin agua no se puede hacer agricultura competitiva, lo que implica dotar y optimizar el uso

del recurso hídrico mediante la implementación de sistemas técnicamente bien orientados que consideren los factores involucrados (textura del suelo, clima y evapotranspiración, calidad del agua, lámina de agua requerida, frecuencia de riego, fenología de la planta, método (gravedad, aspersión, goteo, ventanas), etc.). El drenaje también aplica y no puede por ello obviarse en zonas y periodos de alta precipitación.

- o. Uso de coberturas vegetales a nivel de finca:** en condiciones de manejo apropiadas y en áreas perimetrales el empleo de coberturas vegetales resulta muy apropiado y conveniente virtud de las incuestionables ventajas que aporta en materia de conservación, agregación, retención de humedad, actividad biológica y fertilidad del suelo; además de control de malezas, fitosanidad y efecto paisajístico de la plantación, entre otros.
- p. Aumento de la cobertura vegetal con especies arbóreas y arbustivas:** para efectos de lograr satisfacer los objetivos fijados por la NAMA Caña de Azúcar, el aprovechamiento y repoblamiento de áreas de la finca descubiertas, desaprovechadas y desprovistas de vegetación resulta importante para incorporar sumideros de CO₂ que contribuyan a la mitigación de GEI. Adicionalmente la medida puede satisfacer algún objetivo económico complementario y favorecer la conservación de recursos naturales bióticos y abióticos.
- q. Controlar y reducir el consumo de combustibles fósiles:** identificada como una de las fuentes principales de emisión de GEI en la actividad cañera, todas las medidas estratégicas y acciones que se adopten para buscar reducir uso y consumo de combustibles fósiles y con ello las emisiones de CO₂, resultan determinantes para que la contabilidad de emisiones de GEI se reduzca de manera significativa a los niveles esperados. La gestión implica mantenimiento mecánico preventivo de equipos y maquinaria, adecuación de equipos a lo requerido en capacidad y prototipo, eficiencia en la ejecución de las prácticas de campo, control de tiempos (h/ha, t/h) implicados, capacitación y adiestramiento, entre otras. La planificación y operación de las estrategias debe cubrir labores de preparación de suelos, manejo mecánico y cosecha de plantaciones y transporte de materia prima.
- r. Incrementar la eficiencia en el transporte de la caña:** este aspecto resulta esencial de atender, adecuar y mejorar asegurando un máximo aprovechamiento de los potenciales existentes en cuanto a tipo de transporte

empleado (carreta, camión), capacidad (toneladas), distancias (km), puntos de recibo y/o entrega de materia prima, entre otros. El tema debe ser abordado y ajustado como sistema integral y no apenas individualmente para casos puntuales, lo cual obliga a revisar la organización local, regional y nacional.

- s. Manejo óptimo de biomasa y residuos agroindustriales:** la biomasa y los residuos de cosecha (RAC) no deben constituirse en un problema sino por el contrario en una fuente potencial de valioso material orgánico, que bien empleado, contribuye con la recarbonización y mejoramiento de la fertilidad del suelo. Es importante adiestrar y capacitar al agricultor para operar sistemas de manejo y adecuación de esos materiales en el campo, incorporándoles valor agregado.
- t. Instalar y operar un sistema de registro confiable y representativo:** sin datos confiables, representativos, oportunos y de calidad es muy difícil poder operar cambios importantes y sostenibles en el tiempo al sistema de producción de caña. Es imperativo diseñar e instalar un sistema de captación y referenciamiento de datos de actividad e información valiosa que permitan implementar cambios y medir su impacto. La medida aplica en el campo técnico, económico y administrativo y se sustenta en la buena y oportuna planificación.

Como se infiere de lo anterior, las áreas temáticas de gestión y acción estratégica se concentran por su naturaleza en aspectos de carácter:

- a. Sectorial e institucional
- b. Climático
- c. Edáficos (físicoquímica del suelo, microbiológicos)
- d. Hídricos (riego, drenaje)
- e. Nutricionales (enmiendas, fertilización)
- f. Genéticos (variedades)
- g. Agronómicos y manejo de plantaciones
- h. Energéticos (cosecha y transporte)
- i. Manejo de residuos agroindustriales



9. Barreras para la adopción tecnológica

Como acontece con cualquier iniciativa o emprendimiento técnico-empresarial orientado a favorecer y promocionar la mejora tecnológica agroindustrial en materia de producción sostenible y competitiva de caña de azúcar, la implementación de las medidas definidas y expuestas con anterioridad con carácter estratégico está sujeta a la superación de varios elementos considerados como limitantes y barreras al cambio, entre las cuales pueden citarse las siguientes:

- a. Alto costo de las medidas y la estrategia de mejora: la decisión técnica de incorporar cambios, ajustes y mejoras al sistema tradicional de manejo de una plantación de caña está sujeta y determinada en alto grado por el costo individual e integral que signifiquen las mismas. Pretender por ejemplo llevar agua a un sitio implica inversiones de muy alto costo en equipos, infraestructura de riego, adecuación de terrenos y plantaciones y operación del sistema, lo que puede eventualmente constituirse en una seria limitante al deseo y la necesidad de cambiar. Debe informarse al agricultor con la antelación y el detalle requerido sobre los costos e inversiones implicadas para evitar sorpresa e inconformidad posterior. No pareciera ser una barrera infranqueable que amerita sin embargo una buena comunicación.
- b. Indefinición presupuestaria: las medidas previstas potencialmente incorporar requieren contar con una presupuestación previa del costo implícito que sirva de referencia y marco orientador de lo que económicamente implica la inversión y su ejecución. La NAMA no puede quedarse apenas en el campo teórico por lo que debe fundamentarse en la viabilidad y factibilidad técnico-económica de las acciones por desarrollar. La barrera se considera es fácilmente superable.
- c. Falta de recursos económicos: sin recursos financieros cualquier deseo, intención y necesidad de mejora tecnológica se torna restrictiva y hasta inviable de implementar en el campo; lo cual obliga buscar mecanismos de financiamiento que posibiliten satisfacer este incuestionable y determinante

factor. La barrera no es fácil de resolver, lo que justifica concentrar esfuerzos y recursos institucionales en su atención y solución.

- d. Baja rentabilidad de los ajustes sugeridos: las mejoras recomendadas aplicar al sistema productivo deben tener como base insoslayable estrechamente ligados el incremento en productividad y el objetivo ambiental de mitigación de los GEI. Incurrir en gastos que impacten, reduzcan o no aumenten la rentabilidad de la unidad productiva resultan poco vendibles y de aceptación limitada. Esta es posiblemente una de las barreras más importantes por resolver y superar.
- e. Carencia de equipo, materiales e insumos adecuados: es posible que en algunas localidades y condiciones productivas muy particulares no se cuente con los elementos necesarios para hacer efectivas las recomendaciones técnicas; lo que debe ser revisado previo a fijar recomendaciones. La barrera es superable.
- f. Dificultad técnica y alcance de las medidas: por su naturaleza y grado de complejidad podrían eventualmente algunas medidas técnicas tener dificultades en su implementación en el campo, lo que obliga informar, capacitar y sobre todo adiestrar de previo al agricultor. En casos particulares debe conocerse el ámbito de variación y/o sesgo implícito, como acontece con la materia climática de muy poco control. La barrera es superable en alto grado.
- g. Falta de asistencia técnica: nunca se puede dejar al agricultor solo y sin acompañamiento técnico, aún al más calificado y experimentado, por dos razones principales: a) se sienta acuerpado y acompañado y b) tenga absoluta certeza de las acciones por ejecutar en forma, tiempo y calidad. Las medidas resolutivas por adoptar en esta barrera son simples y sencillas.
- h. Falta de información oportuna y específica sobre tópicos técnicos: el canal de información y comunicación debe ser expedito, fluido, inclusivo, claro, oportuno y permanente asegurando la cobertura de todos los participantes sin distingo alguno. La barrera es de muy fácil atención.

- i. Desconocimiento pragmático de las acciones de campo: algunas de las labores de campo recomendadas implementar, aún las más sencillas y tradicionales, obligan revisar y conciliar la forma de hacerlas y no dejar a criterio del agricultor su ejecución. Es necesario coincidir en criterios técnicos y formas de ejecutar las labores para eliminar sesgos innecesarios que desvirtúen la meta pretendida. No pareciera haber problema en superar esta barrera.
- j. Falta de integralidad en la implementación de la estrategia: las mejoras recomendadas implementar aplican sobre todo el sistema productivo y no apenas sobre una labor puntual, motivo por el cual deben ser vistas y operadas de manera integral y no aislada. La visión holística de la NAMA forma parte esencial de su éxito técnico. Esta barrera se resuelve fácilmente con buena información, comunicación y asistencia técnica calificada y oportuna.
- k. Desinterés, duda o incredulidad por las medidas recomendadas: en materias técnicas siempre hay un margen variable y entendible de duda e incredulidad en los resultados y forma de implementar las medidas recomendadas, lo que implica “convencer y nunca obligar”. El tema debe manejarse con prudencia y tacto evitando discrepancias y competencia, reconociendo que “no hay una única forma de hacer las cosas”. El técnico debe buscar armonizar criterios y ajustarse a lo mejor sin desvirtuar lo pretendido. La motivación resulta esencial en todo el proceso y vale para todas las partes, no apenas para el agricultor. La atención y solución de esta barrera debe manejarse con mucha prudencia y tacto por intervenir elementos sentimentales, de relaciones humanas, credibilidad, experiencia y tradición.
- l. Profesionales de bajo perfil, desmotivados y con deficiente formación técnica: la parte técnica no está ajena ni exenta en absoluto de fallar y convertirse en una barrera al cambio tecnológico, pues razones de formación, experiencia, actitud, aptitud e interés pueden generar efectos contrarios a los promovidos y deseados. La organización debe tener presente y pendiente esta barrera con una alta posibilidad de ocurrencia.



- m. Condiciones desfavorables del entorno agroproductivo: en un ambiente productivo tan heterogéneo y variable como el prevaleciente con la caña de azúcar en Costa Rica, los cambios no planificados e inesperados que puedan suceder en todos los sentidos resultan posibles y hasta predecibles, lo que debe en alguna medida tenerse presente al implementar las medidas NAMA. Factores edáficos, climáticos, de relieve, fitosanitarios, de manejo, financieros, tecnológicos y de estructura de tenencia de la tierra generan ambientes de producción particulares no siempre deseables a nivel de región, zona, localidad y finca. Las recomendaciones deben ser por ello ajustadas y apegadas estrictamente a condiciones particulares de cultivo, lo que exige de generalizar. Esta barrera obliga a considerar cada caso como especial y particular, evitando las inconvenientes recomendaciones de “paquete” fundadas en supuestos erróneos de homogeneidad.
- n. Pérdida de interés con el tiempo: pudiera ser que por tratarse de un programa operado en el mediano y largo plazo (5-10 años), el interés por mantener vigentes de manera continua las medidas NAMA implementadas puedan perder fuerza con el tiempo, desvirtuando la integralidad y los resultados esperados de la iniciativa ambiental. Esta barrera debe superarse con un tratamiento de motivación continuo que mantenga activo el interés del agricultor por el programa. Pueden darse también cambios de propiedad de la tierra o liderazgo en el manejo de las plantaciones, lo que inevitablemente debe considerarse. La organización cañero-azucarera no puede como sector una vez aceptado e iniciado el compromiso institucional, desatender y perder interés por continuar con la operación de la NAMA, independientemente de lo que suceda en materia programática de prioridades y visión de futuro.
- o. Cambios mediáticos y coyunturales en sector azucarero y país: es de todos conocido que la situación del mundo, el país, el sector agropecuario y la agroindustria cañero-azucarera es en los tiempos actuales muy inestable y volátil en todos los ámbitos, lo que incorpora un sentimiento

de incertidumbre y duda hacia el devenir futuro. Nuevos paradigmas surgen como rutas comerciales futuras. Este pensamiento es válido y entendible en un mundo cambiante, aunque también genera complementariamente interesantes expectativas de mejoras potenciales fundadas en nuevos mercados (azúcar bajo en emisiones) para productos novedosos, apego a nuevas formas de producir y hacer agricultura basada en principios de armonía con la naturaleza, ecoeficiencia y eco-competitividad, contribuir a contrarrestar los impactos del cambio climático, entre otros.

Las anteriores son algunas de las barreras y limitantes que podrían encontrarse en la pretensión institucional de desarrollar el PLP y operar a cabalidad el escalamiento de la NAMA Caña de Azúcar de acuerdo con el plan previsto.

Como se indicó, la mayoría de las barreras mencionadas se consideran viables y hasta factibles de superar con alguna facilidad en el tanto se cuente con los programas y recursos necesarios. La planificación, la información, la capacitación y la coordinación representan insumos necesarios para satisfacer esa meta.



9. Consideración Final

Es importante reiterar que el presente Manual Descriptivo y Operativo constituye apenas una Guía Técnica orientadora y comprensiva sobre algunas de las acciones que deben desarrollarse para implementar la NAMA Caña de Azúcar en su fase inicial de Pilotaje y Escalamiento posterior; proceso en el cual deberán casi de seguro realizarse durante su implementación ajustes y mejoras en consideración de las particularidades presentes en cada una de las regiones, zonas, localidades y fincas donde se produce caña y realizarán las evaluaciones, y que este documento, no puede por razones obvias considerar.

La intención del Manual es básicamente apoyar, contribuir y orientar con el desarrollo correcto de las acciones e intervenciones que se hagan para obtener información veraz y datos confiables y representativos de actividad, que conduzcan a provocar cambios y mejoras trascendentes en los sistemas productivos de caña de azúcar. Se pretende que dichas mejoras incrementen la productividad agroindustrial, la rentabilidad y la competitividad de la actividad cañero-azucarera costarricense; contribuyendo ostensiblemente con la adaptación y mitigación de Gases de Efecto Invernadero (GEI) y con ello atenuar los efectos detrimentales provocados por el Cambio Climático.



Transferencia de tecnología a productores de caña de azúcar



10. Literatura citada

1. Briceño, J.A.; Pacheco, R. 1984. **Métodos Analíticos para el Estudio de Suelos y Plantas**. San José, Costa Rica: Editorial de la UCR. Universidad de Costa Rica, Centro de Investigaciones Agronómicas. 137 p.
2. Costa Rica. 2019. **Plan Nacional de Descarbonización. Gobierno de la República 2018-2050**. San José, Costa Rica. Gobierno del Bicentenario 2018-2022. 103 p.
3. Calvo Méndez, M.; Hamilton, R. 2020. **La evaluación visual multitemporal: innovación para el monitoreo de la cobertura y uso de la tierra**. Ambientico N° 273. P: 51-56.
4. Chaves Solera, M.A. 1993. **Importancia de las características de calidad de los correctivos de acidez del suelo: desarrollo de un ejemplo práctico para su cálculo**. San José, Costa Rica. LAICA-DIECA, junio. 41 p.
5. Chaves, M. 1999. **Uso de la relación caña/azúcar como determinante de la eficiencia técnico-económica en la agroindustria azucarera costarricense**. En: Congreso Nacional Agronómico y de Recursos Naturales, 11, San José, Costa Rica, 1999. Memoria: Manejo de Cultivos. San José, Colegio de Ingenieros Agrónomos: EUNED, julio. Volumen II. p: 325. También en: Participación de DIECA en el XI Congreso Nacional Agronómico y de Recursos Naturales. San José, Costa Rica. LAICA-DIECA, julio 1999. p: 226.
6. Chaves Solera, M. 2011a. **Propuesta metodológica para la integración y operación de Comités Técnicos Regionales en el sector azucarero costarricense como instrumento de planificación para el desarrollo tecnológico**. San José, Costa Rica. LAICA-DIECA, setiembre. 14 p.
7. Chaves Solera, M. 2011b. **Comités Técnicos Regionales: valioso instrumento institucional para la planificación tecnológica en la agroindustria azucarera**. Boletín Informativo DIECA (Costa Rica), N° 06, setiembre-octubre. 7 p.

8. Chaves Solera, M. 2015. **Comités Técnicos Regionales (COTER) instrumentos institucionales efectivos de planificación para captar y canalizar demandas tecnológicas en la agroindustria azucarera costarricense.** Revista Entre Cañeros N° 2. Revista del Departamento de Investigación y Extensión de la Caña de Azúcar (DIECA). San José, Costa Rica, junio. p: 5-9.
9. Chaves Solera, M.A. 2019c. **Clima y ciclo vegetativo de la caña de azúcar.** Boletín Agroclimático (Costa Rica) 1(7): 5-6, julio.
10. Chaves Solera, M.A. 2020a. **Clima, degradación del suelo y productividad agroindustrial de la caña de azúcar en Costa Rica.** Boletín Agroclimático (Costa Rica) 2(15): 5-13, julio.
11. Chaves Solera, M.A. 2020b. **Atributos anatómicos, genético y eco fisiológicos favorables de la caña de azúcar para enfrentar el cambio climático.** Boletín Agroclimático (Costa Rica) 2(11): 5-14, mayo.
12. Chaves Solera, M.A. 2020c. **Materia orgánica y disponibilidad de nitrógeno para la caña de azúcar.** Boletín Agroclimático (Costa Rica) 2(21): 6-16, octubre.
13. Chaves Solera, M.A. 2021a. **Óxido nitroso (N₂O) y uso del nitrógeno en la caña de azúcar.** Boletín Agroclimático (Costa Rica) 3(19): 5-29, setiembre.
14. Chaves Solera, M.A. 2021b. **Nitrificación y pérdidas potenciales de nitrógeno en suelos cañeros.** Boletín Agroclimático (Costa Rica) 3(20): 6-24, setiembre.
15. Chaves Solera, M.A. 2021c. **Amonificación y volatilización de nitrógeno en suelos cañeros.** Boletín Agroclimático (Costa Rica) 3(21): 6-22, octubre.
16. Chaves Solera, M.A. 2022a. **Acciones estratégicas para mitigar Gases con Efecto Invernadero (GEI) en la fase de producción primaria de la caña de azúcar en Costa Rica: recomendaciones y sugerencias pragmáticas.** Boletín Agroclimático (Costa Rica) 4(6): 5-27, marzo.
17. Chaves Solera, M.A. 2022b. **La caña de azúcar en el Plan Nacional de Descarbonización 2018-2050: oportunidad histórica para crecer y trascender con producción baja en emisiones.** Boletín Agroclimático (Costa Rica) 4(8): 5-18, abril.

18. Chaves Solera, M.A. 2022c. **NAMA como instrumento ambiental para mitigar Gases de Efecto Invernadero (GEI) en la agricultura: el caso de la caña de azúcar en Costa Rica.** Boletín Agroclimático (Costa Rica) 4(10): 5-15, mayo.
19. Chaves Solera, M.A. 2022d. **Productividad agrícola de la caña de azúcar en Costa Rica según región productora.** Periodo 2012 - 2020 (9 zafras). Boletín Agroclimático (Costa Rica) 4(4): 5- 31, febrero-marzo.
20. Chaves Solera, M.A. 2022e. **Muestreo de suelos agrícolas: aplicación a la caña de azúcar.** Boletín Agroclimático (Costa Rica) 4(14): 5-22, julio.
21. FAO. 2019. **Measuring and modelling soil carbon stocks and stock changes in livestock production systems: Guidelines for assessment (Version 1).** Livestock Environmental Assessment and Performance (LEAP) Partnership. Rome, FAO. 170 p. Licence: CC BY-NC-SA 3.0 IGO.
22. Henríquez, C.; Bertsch, F.; Salas, R. 1995. **Fertilidad de Suelos: manual de laboratorio.** 1ed. San José, Costa Rica: Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo. 64 p.
23. Henríquez H., C.; Cabalceta A., G. 2012. **Guía práctica para el estudio introductorio de los suelos con un enfoque agrícola.** 2ed. San José, Costa Rica: Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo. 111 p.
24. Instituto Meteorológico Nacional (IMN). 2021. **Factores de emisión de gases de efecto invernadero. Undécima edición / 2021.** San José, Costa Rica. MINAE, IMN, ICE, LCM. 8 p.
25. IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2006. **Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories.** Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programmed. IGES, Japan. 20 p.
26. IPCC. 2019. **IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories.** Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme.



27. LAICA. 1998. **Ley Orgánica de la Agricultura e Industria de la Caña de Azúcar N° 7818 del 22 de Setiembre de 1998**. San José, Costa Rica, LAICA. 117 p.
28. LAICA. 2000. DECRETO N° 28665 - MAG. **Reglamento Ejecutivo de la Ley Orgánica de la Agricultura e Industria de la Caña de Azúcar N° 7818 de 2 de Setiembre de 1998. Dado en la Presidencia de la República**. San José, a los veintisiete días del mes de abril del año dos mil. 140 p.
29. LEAP. 2018. Modificado de LEAP (Livestock Environmental Assessment and Performance. 2018. **Guidelines for measuring soil carbon stocks and stock changes in livestock productions systems**. FAO, Rome. 144p.)
30. Montenegro Ballesterero, J.; Chaves Solera, M. 2012. **Estimación de la emisión Óxido Nitroso (N₂O) por región productora de caña de azúcar en Costa Rica. Primera aproximación**. En: Congreso Tecnológico DIECA 2012, 5, Coopevictoria, Grecia, Alajuela, Costa Rica. Memoria. Departamento de Investigación y Extensión de la Caña de Azúcar (DIECA), 5,6 y 7 de setiembre del 2012. 15 p. Presentación Electrónica en Power Point. 35 láminas. *También en:* Costa Rica. INTA. 2013. El cambio climático y el sector agropecuario costarricense. Elaborado por Johnny Montenegro Ballesterero. San José, C.R.: MAG/INTA. p: 5-26.
31. Programa Nacional de Ganadería del Ministerio de Agricultura y Ganadería. Sf. **Manual Operativo del Piloto Nacional de NAMA Ganadería**. Segunda Edición. San José, Costa Rica. MAG/INTA/CORFOGA/Cámara Nacional de Productores de Leche. 56 p.
32. Russo, R. 2009. **Guía práctica para la medición de la captura de carbono en la biomasa forestal**. Unidad de Carbono Neutro, Universidad EARTH. Limón, Costa Rica. Tomado de: https://www.researchgate.net/publication/236593400_GUIA_PRACTICA_PARA_LA_MEDICION_DE_LA_CAPTURA_DE_CARBONO_EN_LA_BIOMASA_FORESTAL.
33. Vallejo, M.; Chaves, M.; Solano, Z.; Chacón, M.; Montenegro, J. 2021. **Lineamientos para el Diseño de NAMA Caña de Azúcar (Nota Conceptual)**. San José, Costa Rica. MAG/LAICA/FEDECANA/AFD. 64 p.



