

A decorative graphic consisting of five vertical bars of varying heights and colors (green and blue) positioned to the left of the title.

NAMA Caña de Azúcar Costa Rica



Coordinación general:

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

Redacción del documento:

Alejandro Rodríguez Morales,
DIECA-LAICA
Erick Chavarría Soto, DIECA-LAICA
Irene Medina Mora, LAICA
Johnny Montenegro Ballester, INTA-IMN
Marco A. Chaves Solera, LAICA
Zaida Solano Valverde, LAICA

Comité Técnico:

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

Orientación y revisión técnica:

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



Liga Agrícola Industrial
de la Caña de Azúcar

- LAICA -

NAMA Caña de Azúcar Costa Rica
San Jose, 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 prevalientes 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.

Rol 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 (Belize, 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 Ballester, 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 Agencia Francesa de Desarrollo (AFD) por aportar los recursos financieros necesarios para desarrollar el amplio y complejo trabajo técnico vinculado con 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.

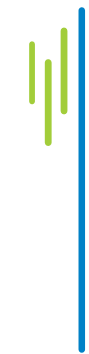
A todas las instituciones y personas que trabajaron de forma intensa y desinteresada para hacer posible concertar la iniciativa ambiental y productiva en el presente proyecto y su implementación.

A todos, ¡muchas gracias!



Contenido

| | |
|---|----------|
| Lista de figuras..... | I |
| Lista de cuadros..... | II |
| Lista de Anexos..... | VI |
| Acrónimos..... | VII |
| Glosario..... | XI |
| Resumen ejecutivo..... | IXX |
| Actividades desarrolladas..... | XXII |
| Reuniones técnicas y de orientación..... | XXII |
| Introducción..... | XXIV |
| 1. Diseño técnico de la NAMA..... | 1 |
| 1.1. Actualización del contexto y diagnóstico del sector..... | 1 |
| 1.1.1. Internacional..... | 1 |
| 1.1.2. Nacional..... | 6 |
| 1.2. Caracterización socioeconómica de la producción primaria..... | 13 |
| 1.2.1. Organización institucional..... | 13 |
| 1.2.2. Institucionalidad y marco regulatorio..... | 13 |
| 1.2.3. Organización productiva..... | 16 |
| 1.2.4. Situación actual del sector cañero azucarero costarricense..... | 22 |
| 1.3. Fuentes potenciales de emisión de GEI..... | 23 |
| 1.4. Barreras y potencial de reducción de emisiones GEI..... | 24 |
| 1.4.1. Encuesta a productores..... | 28 |
| 1.5. Elaboración de la Línea Base de emisiones de GEI del sector al 2050..... | 30 |
| 1.5.1. Área sembrada con caña..... | 30 |
| 1.5.2. Proyección de áreas de siembra..... | 32 |
| 1.5.3. Definición área de Línea Base 2021-2050..... | 33 |
| 1.6. Organización y estimación datos de actividad..... | 35 |
| 1.7. Emisión de GEI..... | 36 |
| 1.7.1. Inventario nacional de GEI por fuente..... | 36 |



| | |
|---|-----------|
| 1.8. Escenarios nacionales de mitigación..... | 41 |
| 1.8.1. Medidas de mitigación..... | 42 |
| 1.8.2. Escenarios de mitigación según fuente y región agrícola..... | 47 |
| 1.8.3. Eficiencia de emisión (kg CO ₂ eq/t caña)..... | 52 |
| 1.8.4. Impacto de la mitigación de GEI..... | 55 |
| 2. Mecanismo de Acompañamiento Técnico Institucional (MATI)..... | 59 |
| 2.1. Fase 1: Identificación y priorización de demandas regionales y análisis de barreras..... | 61 |
| 2.1.1. Comités Técnicos Regionales (COTER) y abordaje técnico..... | 62 |
| 2.2. Fase 2: Diseño y formulación del Plan de Acompañamiento Técnico..... | 64 |
| 2.3. Fase 3: Implementación y ejecución programática..... | 65 |
| 2.4. Instancias Relevantes para el MATI..... | 66 |
| 3. Mecanismo de Innovación y Desarrollo (MID)..... | 79 |
| 3.1. Fases del mecanismo operativo..... | 80 |
| 3.1.1. Fase 1: Identificación y priorización de demandas tecnológicas regionales..... | 81 |
| 3.1.2. Fase 2: Diseño y formulación del Plan de Trabajo..... | 82 |
| 3.1.3. Fase 3: Implementación y ejecución programática..... | 84 |
| 3.2. Mecanismo de Integración MATI - MID..... | 87 |
| 4. Estrategia de Mercadeo y Comercialización..... | 89 |
| 5. Esquema de gobernanza de la NAMA..... | 93 |
| 6. Sistema de Monitoreo, Reporte y Verificación (MRV)..... | 99 |
| 6.1. Consideraciones generales..... | 99 |
| 6.2. Indicadores de la NAMA Caña de Azúcar..... | 102 |
| 6.2.1. Producción..... | 103 |
| 6.2.2. Áreas de siembra..... | 106 |
| 6.2.3. Captura de carbono..... | 118 |
| 6.2.4. Emisiones GEI..... | 124 |
| 6.3. Desarrollo del módulo del MRV..... | 132 |



| | |
|---|------------|
| 6.4. Roles y responsabilidades de las instituciones que conforman el MRV..... | 137 |
| 6.5. Mecanismos de verificación..... | 137 |
| 7. Zonas productoras de caña de azúcar en Costa Rica..... | 139 |
| 7.1. Caracterización edafoclimática..... | 141 |
| 7.2. Desarrollo tecnológico..... | 146 |
| 8. Barreras en la implementación de la NAMA..... | 151 |
| 8.1. Componente financiero y económico..... | 153 |
| 8.1.1. Situación actual del crédito..... | 154 |
| 8.1.2. Propuesta de financiamiento para la siembra, renovación y asistencia de cañales mediante recursos del Sistema de Banca para el Desarrollo (SBD)..... | 155 |
| 8.1.3. Especificaciones del Programa..... | 157 |
| 8.2. Disponibilidad de mano de obra..... | 159 |
| 8.3. Afectación por clima..... | 159 |
| 8.4. Cosecha..... | 163 |
| 8.5. Barreras para la adopción de tecnologías NAMA..... | 163 |
| 9. Proceso de implementación de la NAMA..... | 167 |
| 9.1. Fase Plan Piloto (PLP)..... | 170 |
| 9.1.1. Selección de las unidades productivas..... | 176 |
| 9.1.2. Costo de las Parcelas Piloto..... | 177 |
| 9.2. Fase de Escalamiento..... | 179 |
| 10. Componente financiero..... | 181 |
| 10.1. Alcance y periodo de implementación..... | 181 |
| 10.2. Justificación del plan de inversión y gastos operativos del Plan Piloto..... | 192 |
| 10.3. Financiamiento Plan de Escalamiento (PE)..... | 195 |
| 10.4. Estimación de recursos financieros requeridos..... | 198 |
| 10.5. Fuentes potenciales de financiamiento..... | 212 |
| 11. Literatura citada..... | 217 |

Lista de figuras

| | |
|---|-----|
| Figura 1. Consumo Mundial de Azúcar 1,000 Toneladas Métricas, Valor Crudo..... | 3 |
| Figura 2. Evolución del Precio Internacional (US\$/libra) del Azúcar Periodo: 1994-2021..... | 5 |
| Figura 3. Cantidad de entregadores de caña en Costa Rica según zafra..... | 18 |
| Figura 4. Cantidad de entregadores según rango. Zafra 2020-2021..... | 20 |
| Figura 5. Origen porcentual de la caña según sector. Zafra 2020-2021..... | 21 |
| Figura 6. Áreas cultivadas entre el 2010 y 2020..... | 32 |
| Figura 7. Emisión de GEI (Gg CO ₂ eq) según fuente..... | 38 |
| Figura 8. Emisión de GEI en porcentaje, según fuente..... | 39 |
| Figura 9. Porcentaje de emisión de GEI según fuente. Periodo 2020-21..... | 40 |
| Figura 10. Emisión GEI (Gg CO ₂ eq) según escenario de mitigación Nacional..... | 44 |
| Figura 11. Consolidado Nacional de mitigación según fuente y en Gg CO ₂ eq..... | 45 |
| Figura 12. Escenarios de mitigación, Gg CO ₂ eq: Guanacaste..... | 47 |
| Figura 13. Escenarios de mitigación, Gg CO ₂ eq: Pacífico Central..... | 48 |
| Figura 14. Escenarios de mitigación, Gg CO ₂ eq: Zona Norte..... | 48 |
| Figura 15. Escenarios de mitigación, Gg CO ₂ eq: Valle Central..... | 49 |
| Figura 16. Escenarios de mitigación, Gg CO ₂ eq: Turrialba..... | 49 |
| Figura 17. Escenarios de mitigación, Gg CO ₂ eq: Zona Sur..... | 50 |
| Figura 18. Reducción acumulada de GEI según escenario propuesto..... | 57 |
| Figura 19. Productor de caña de azúcar en el sector azucarero..... | 60 |
| Figura 20. Mecanismo de Acompañamiento Técnico Institucional (MATI)..... | 61 |
| Figura 21. Conformación de los Comités Técnicos Regionales (COTER)..... | 63 |
| Figura 22. Mecanismo de Investigación e Innovación..... | 85 |
| Figura 23. Mecanismo de Desarrollo..... | 86 |
| Figura 24. NAMA Caña de Azúcar Costa Rica..... | 93 |
| Figura 25. Estructura de la Gobernanza de la NAMA..... | 96 |
| Figura 26. Estructura DIECA..... | 97 |
| Figura 27. Conceptualización del Sistema de MRV..... | 100 |
| Figura 28. Conceptualización del MRV de la NAMA Caña de Azúcar..... | 101 |

| | |
|--|-----|
| Figura 29. Distribución territorial de las plantaciones de caña de azúcar en Costa Rica. Periodo 2020 - 2021..... | 103 |
| Figura 30. Módulos de la App “Cultivando Futuro”..... | 134 |
| Figura 31. Estructura general del módulo para el MRV..... | 136 |
| Figura 32. Variación promedio nacional en el costo de siembra, manejo y asistencia de una hectárea de caña de azúcar en ciclo planta y ciclo soca (retoños). Período 2018-2022..... | 141 |
| Figura 33. Distribución de las áreas de cultivo de caña de azúcar en relación con las zonas con riesgo a inundaciones o acúmulos prolongados de agua..... | 156 |
| Figura 34. Distribución de las áreas de cultivo de caña de azúcar en relación a las zonas con riesgo a inundaciones o acúmulos prolongados de agua..... | 160 |
| Figura 35. Fases de implementación de la NAMA Caña de Azúcar..... | 169 |
| Figura 36. Plan de mitigación según escalamiento de área (ha) en el tiempo..... | 170 |
| Figura 37. Distribución de Fincas Piloto por región productora..... | 173 |
| Figura 38. Distribución porcentual de las partidas presupuestarias de la NAMA..... | 191 |
| Figura 39. Costos por concepto de nutrición según zona y ciclo vegetativo..... | 206 |
| Figura 40. Fuentes potenciales de financiamiento para el NAMA Caña de Azúcar..... | 212 |

Lista de cuadros

| | |
|--|------|
| Cuadro 1. Reuniones de coordinación sostenidas en el periodo analizado..... | XXV |
| Cuadro 2. Funcionarios participantes en reuniones grupales..... | XXVI |
| Cuadro 3. Producción mundial de azúcar centrifugada. 1.000 Toneladas Métricas, Valor Crudo..... | 2 |
| Cuadro 4. Resultados agroindustriales finales de la Zafra 2020-2021 según región productora..... | 7 |
| Cuadro 5. Histórico de índices de producción y rendimiento agroindustrial del sector azucarero costarricense. Periodo 2003-2020 | 9 |
| Cuadro 6. Exportaciones del azúcar costarricense según destino (27). Periodo 2017-2021..... | 11 |
| Cuadro 7. Zonificación productiva de la agroindustria azucarera costarricense..... | 17 |

| | |
|--|-----|
| Cuadro 8. Cantidad y distribución de los Productores independientes según región agrícola. Periodo 2010-2020 | 18 |
| Cuadro 9. Rangos de entrega de caña de Productores Independientes. Periodo 2010-2020 | 19 |
| Cuadro 10. Distribución de la producción agroindustrial según sector productivo. Periodo 2010-2020 | 22 |
| Cuadro 11. Fuentes potenciales de emisión de GEI en caña de azúcar..... | 24 |
| Cuadro 12. Áreas de gestión y acciones técnicas prioritarias para favorecer mitigación de GEI y adaptación al Cambio Climático..... | 26 |
| Cuadro 13. Detalle cuantitativo de las medidas prioritarias de mitigación, barreras y mecanismos para su remoción según áreas de gestión identificadas..... | 27 |
| Cuadro 14. Encuestas realizadas según región productora..... | 29 |
| Cuadro 15. Áreas de siembra (en hectáreas) de caña de azúcar en Costa Rica según región productora. Periodo 2010-2020 | 31 |
| Cuadro 16. Área sembrada y proyectada (ha) según año y región productora..... | 34 |
| Cuadro 17. Comparativo de tendencia de área sembrada y proyectada según área y región productora..... | 35 |
| Cuadro 18. Emisión GEI (Gg CO ₂ eq) según fuente..... | 37 |
| Cuadro 19. Emisión GEI en porcentaje según fuente..... | 38 |
| Cuadro 20. Proyección nacional de emisiones de GEI según periodo..... | 41 |
| Cuadro 21. Mitigación (Gg CO ₂ eq) lograda según Fuente de emisión y escenario de mitigación por región productora. Periodo 2049-2050 | 51 |
| Cuadro 22. Índice de Eficiencia (intensidad) de Emisión (kg CO ₂ eq / t caña cosechada)..... | 53 |
| Cuadro 23. Reducción potencial de la cantidad (kg CO ₂ eq/t) emitida por tonelada de caña cosechada..... | 54 |
| Cuadro 24. Reducción potencial de la cantidad porcentual de CO ₂ eq emitida por tonelada de caña cosechada..... | 55 |
| Cuadro 25. Proyección de impacto y reducción de CO ₂ eq emitido al año 2049-50 según escenario..... | 56 |
| Cuadro 26. Reducción acumulada (Gg CO ₂ eq) estimada a zafra 2049-50..... | 57 |
| Cuadro 27. Apoyo institucional según área de gestión de organizaciones vinculadas..... | 77 |
| Cuadro 28. Presupuesto asociado a la NAMA..... | 91 |
| Cuadro 29. Ficha para el indicador Producción total de caña (PTC)..... | 104 |
| Cuadro 30. Ficha para el indicador Producción total de azúcar (PTA)..... | 105 |
| Cuadro 31. Ficha para el indicador Producción total de melaza (PTM)..... | 106 |

| | |
|--|-----|
| Cuadro 32. Ficha para el indicador Área total con caña soca o de retoño..... | 107 |
| Cuadro 33. Ficha para el indicador Área total de caña renovada (Ciclo planta)..... | 108 |
| Cuadro 34. Ficha para el indicador Área nueva de caña..... | 109 |
| Cuadro 35. Ficha para el indicador Área de semilleros..... | 110 |
| Cuadro 36. Ficha para el indicador Área de caña cosechada..... | 111 |
| Cuadro 37. Ficha para el indicador Productividad agrícola..... | 112 |
| Cuadro 38. Ficha para el indicador Rendimiento industrial..... | 113 |
| Cuadro 39. Ficha para el indicador Productividad agroindustrial..... | 114 |
| Cuadro 40. Ficha para el indicador Rendimiento de miel..... | 115 |
| Cuadro 41. Ficha para el indicador Relación Caña/Azúcar..... | 116 |
| Cuadro 42. Ficha para el indicador Residuos agrícolas de cosecha (RAC)..... | 117 |
| Cuadro 43. Ficha para el indicador Captura de COS..... | 119 |
| Cuadro 44. Ficha para el indicador Captura de carbono por áreas boscosas compactas..... | 121 |
| Cuadro 45. Ficha para el indicador Captura de carbono por árboles dispersos..... | 123 |
| Cuadro 46. Proceso de generación de datos de actividad..... | 124 |
| Cuadro 47. Formulario para la recolección de datos de fertilización en las áreas del PLP de la NAMA Caña de Azúcar en Costa Rica..... | 125 |
| Cuadro 48. Formulario para la recolección de datos de aplicación de abonos orgánicos en las áreas del PLP del NAMA Caña de Azúcar en Costa Rica..... | 126 |
| Cuadro 49. FE de GEI para fertilizantes, abonos orgánicos y otras enmiendas orgánicas que contienen nitrógeno..... | 127 |
| Cuadro 50. Formulario para la recolección de datos de aplicación de enmiendas correctivas de acidez en los suelos de las áreas del PLP de la NAMA Caña de Azúcar..... | 128 |
| Cuadro 51. Formulario para la recolección de datos de consumo de combustibles en las labores de establecimiento y mantenimiento del cultivo en las áreas del PLP de la NAMA Caña de Azúcar..... | 130 |
| Cuadro 52. Formulario para la recolección de datos de consumo de combustibles fósiles en las labores de cosecha en las áreas del PLP de la NAMA Caña de Azúcar..... | 131 |
| Cuadro 53. FE de GEI para hidrocarburos..... | 132 |
| Cuadro 54. Caracterización geográfica de las regiones y zonas productoras de caña destinada a la fabricación de azúcar en Costa Rica..... | 140 |
| Cuadro 55. Caracterización climática de las regiones y zonas productoras de caña destinada a la fabricación de azúcar en Costa Rica..... | 144 |

| | |
|---|-----|
| Cuadro 56. Caracterización edáfica y territorial de las regiones y zonas productoras de caña destinada a la fabricación de azúcar en Costa Rica..... | 145 |
| Cuadro 57. Caracterización química aproximada de los suelos cultivados comercialmente con caña de azúcar en Costa Rica..... | 146 |
| Cuadro 58. Caracterización agrícola de las regiones y zonas productoras de caña destinada a la fabricación de azúcar en Costa Rica..... | 147 |
| Cuadro 59. Respuesta de la caña de azúcar a la adición de nutrimentos esenciales aplicados al suelo en Costa Rica, según región productora..... | 149 |
| Cuadro 60. Problemas y limitantes señalados por los productores de caña que constituyen barreras al éxito de la NAMA. Evaluación noviembre diciembre 2018..... | 152 |
| Cuadro 61. Problemas y limitantes señalados por los productores de caña que constituyen barreras al éxito de la NAMA. Evaluación diciembre 2021..... | 153 |
| Cuadro 62. Principales eventos climáticos a los que ha estado expuesto el sector azucarero de Costa Rica en el periodo comprendido entre 2014 y 2021..... | 162 |
| Cuadro 63. Barreras y mecanismos de remoción asociadas a la NAMA..... | 164 |
| Cuadro 64. Metas de cumplimiento del proyecto NAMA Caña de Azúcar..... | 168 |
| Cuadro 65. Plan de Pilotaje y Escalamiento según periodo de tiempo implicado y porcentaje de mitigación incorporado..... | 169 |
| Cuadro 66. Número de FP y sus respectivas parcelas de validación con implementación de la NAMA y tecnología propia del productor, según región y cantón..... | 172 |
| Cuadro 67. Elementos a considerar en la definición y conformación de las FP..... | 174 |
| Cuadro 68. Aptitudes y atributos deseables de los productores para considerar en su selección para participar de la fase de pilotaje..... | 175 |
| Cuadro 69. Estimación económica para el establecimiento, mantenimiento y cosecha de un ciclo completo de plantación, de 70 parcelas con dos sistemas de producción de caña de azúcar (NAMA y Productor), en seis regiones productoras..... | 178 |
| Cuadro 70. Proyección de inversiones previstos para implementación y operación de la NAMA Caña de Azúcar según partida..... | 182 |
| Cuadro 71. Proyección de gastos en RRHH previstos para implementación de NAMA Caña de Azúcar según partida..... | 186 |
| Cuadro 72. Proyección de gastos operativos previstos en la implementación de la NAMA-Caña de Azúcar según partida..... | 188 |

| | |
|--|-----|
| Cuadro 73. Presupuesto general NAMA Caña según rubro y plan..... | 191 |
| Cuadro 74. Justificación del plan de gastos e inversiones implicada en la NAMA: Fertilización, Enmiendas y Combustibles fósiles..... | 193 |
| Cuadro 75. Justificación del plan de gastos e inversiones implicada en la NAMA: incremento a la productividad, operación y gobernanza..... | 194 |
| Cuadro 76. Área cultivada (ha) según estado vegetativo de las plantaciones en Fase de escalamiento, periodo 2023-2032..... | 199 |
| Cuadro 77. Costos de producción promedio por hectárea según región cañera y ciclo vegetativo de la plantación. Año 2022..... | 201 |
| Cuadro 78. Costo (US\$) teórico de atender el área total comprometida según estado vegetativo de las plantaciones en Fase de Escalamiento, periodo 2023-2032..... | 203 |
| Cuadro 79. Costos promedio por hectárea implicados en la nutrición del cultivo según regióncañera y ciclo vegetativo de la plantación. Año 2022..... | 205 |
| Cuadro 80. Contrapartida del Sector Cañero Azucarero para el Diseño Técnico y Operacional de la NAMA Caña de Azúcar por un período de seis meses..... | 207 |
| Cuadro 81. Contrapartida del Sector Cañero-Azucarero para la Fase de pilotaje | 209 |
| Cuadro 82. Contrapartida del Sector Cañero Azucarero para la Fase de escalamiento..... | 211 |

Lista de Anexos

- Anexo 1.** La agroindustria azucarera en Costa Rica.
- Anexo 2.** Áreas de gestión y acciones técnicas (21) prioritarias para favorecer mitigación de GEI y adaptación al cambio climático.
- Anexo 3.** Consulta (encuesta) realizada a productores de caña.
- Anexo 4.** Cantidad y porcentaje de entregadores de caña según región y rango de entrega.
- Anexo 5.** Estimación del área sembrada y cosechada con caña de azúcar en CR 1985-2020.
- Anexo 6.** Estimación del área sembrada con caña en Costa Rica, periodo 2010-2020.
- Anexo 7.** Áreas de siembra proyectadas por región, periodo 2022-2050.
- Anexo 8.** Resultados de la consulta (encuestas) realizada a productores de caña.
- Anexo 9.** Productividad agrícola de la caña de azúcar en Costa Rica según región productora. Periodo 2012 - 2020 (9 zafras)
- Anexo 10.** Indicadores básicos de Escenarios de Mitigación
- Anexo 11.** COTER

Acrónimos

- Academia:** Se refiere a las universidades públicas nacionales: UCR, UNA, ITCR, UNED y UTN
- ACC:** Adaptación al Cambio Climático
- 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
- BAC:** Banco BAC Credomatic
- BCR:** Banco de Costa Rica
- BCIE:** Banco Centroamericano de Integración Económica
- BID:** Banco Interamericano de Desarrollo
- BNCR:** Banco Nacional de Costa Rica
- BONSUCRO:** Organización global de múltiples partes interesadas y sin fines de lucro dedicada a la reducción de los impactos sociales y medioambientales que resultan de la producción de la caña de azúcar, teniendo en cuenta la viabilidad económica.
- BPA:** Buenas Prácticas Agrícolas
- BPDC:** Banco Popular y de Desarrollo Comunal
- CATIE:** Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza
- CAZ:** Cámara de Azucareros de Costa Rica
- CC:** Cambio Climático
- CENAT:** Centro Nacional de Alta Tecnología
- CENIBIOT:** Centro Nacional de Innovaciones Biotecnológicas
- CONARE:** Consejo Nacional de Rectores
- CG:** Calentamiento Global
- COOPEAGRI R.L.:** Cooperativa Agrícola Industrial “El General” R.L.
- COOPEVICTORIA R.L.:** Cooperativa Agrícola Industrial Victoria R.L.
- COP:** Conferencia de las Partes
- CPC:** Cámara de Productores de Caña
- COS:** Carbono Orgánico del Suelo
- COTENAMA:** Comité Técnico Sectorial de la NAMA
- COTER:** Comité Técnico Regional
- CUAS:** Encuesta de conocimiento y uso del cliente
- DA:** Dato 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
DT: Departamento Técnico de LAICA
EARTH: Escuela de Agricultura Regional del Trópico Húmedo
ENCC: Estrategia Nacional de Cambio Climático
ENCABC: Estrategia de Caña de Azúcar Baja en Carbono en Costa Rica
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
FGEF: Fondo Mundial Francés para el Medio Ambiente (siglas en inglés)
FINADE: Fideicomiso Nacional para el Desarrollo del SBD
FITTACORI: Fundación para el Fomento y Promoción de la Inversión Transferencia de Tecnología Agropecuaria
FODA: Fortalezas, Oportunidades, Debilidades y Amenazas
FONTAGRO: Fondo Regional de Tecnología Agropecuaria
FP: Fincas Piloto
FUNDECOOPERACIÓN: Fundecooperación para el Desarrollo Sostenible
GCF: Fondo Verde para el Clima (siglas en inglés)
GCR: Gobierno de Costa Rica
GEF: Fondo Mundial para el Medio Ambiente (siglas en inglés)
GEI: Gases de Efecto Invernadero
Gg: Gigagramo
GIZ: Agencia Alemana de Cooperación Técnica
GPS: Sistema de Posicionamiento Global
GUANAZUCAR: Corporación Guanazúcar S.A.
GWP: Asociación Mundial del Agua (siglas en inglés)
ICI/IKI: Iniciativa Climática Internacional Alemana (siglas en inglés)
I + I: Investigación e Innovación
I + I + D: Mecanismo de Investigación, Innovación y Desarrollo
IICA: Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura
IMN: Instituto Meteorológico Nacional, MINAE
INA: Instituto Nacional de Aprendizaje
INEC: Instituto Nacional de Estadística y Censos de Costa Rica
INFOCOOP: Instituto Nacional de Fomento Cooperativo
INGEI: Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero

INTA: Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria
INTECO: Instituto de Normas Técnicas de Costa Rica
IPCC: Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (siglas en inglés)
ISFL: Iniciativa para Paisajes Forestales Sostenibles (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
LANOTEC: Laboratorio Nacional de Nanotecnología
LB: Línea Base.
MAG: Ministerio de Agricultura y Ganadería
MATI: Mecanismo de Acompañamiento Técnico Institucional
MCCR: Mercado de Carbono de Costa Rica
MEIC: Ministerio de Economía, Industria y Comercio
MIC: Manejo Integrado de Cultivo
MICCA: Mitigation of Climate Change in Agriculture
MICITT: Ministerio de Ciencia, Innovación, Tecnología y Telecomunicaciones
MID: Mecanismo de Innovación y Desarrollo
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
OECD: Organización para la Cooperación Económica y el Desarrollo (siglas en inglés)
OSACD: Oficina Sectorial de Acción Climática y Descarbonización
PA: Plan de Acción
PAO: Plan Anual Operativo
PCG: Potencial de Calentamiento Global
PD: Parcela Demostrativa
PE: Plan de Escalamiento
PF: Plan de Finca
PI: Productores Independientes de caña de azúcar
PIB: Producto Interno Bruto
PIBA: Producto Interno Bruto Agropecuario

PITTA: Programa Nacional de Investigación y Transferencia de Tecnología Agropecuaria
PLP: Plan Piloto de la NAMA
PND: Plan Nacional de Descarbonización 2018-2050
PNUD: Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo
PNUMA: Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente
PP: Parcela Piloto
PRNT: Porcentaje Relativo de Neutralización Total en el caso de las Enmiendas
PROCOMER: Promotora de Comercio Exterior de Costa Rica
PSE: Plan Sistemático de Escalamiento
PTA: Producción Total de Azúcar
PTC: Producción Total de Caña
PTM: Producción Total de Miel o Melaza
PYME: Pequeña y mediana empresa
RAC: Residuos Agrícolas de Cosecha
REDD+: Reducción de Emisiones por Deforestación y Degradación
RRSS: Redes sociales
SBD: Sistema de Banca para el Desarrollo
SBN: Sistema Bancario Nacional
SFE: Servicio Fitosanitario del Estado
SENARA: Servicio Nacional de Aguas Subterráneas, Riego y Avenamiento
SEPSA: Secretaría Ejecutiva de Planificación del Sector Agropecuario
SFE: Servicio Fitosanitario del Estado
SIG: Sistemas de Información Geográfica
SINAMECC: Sistema Nacional de Métrica para el Cambio Climático
SINIA: Sistema Nacional de Información Ambiental
SIREA: Sistema de Registro de Establecimientos Agropecuarios
SNITTA: Sistema Nacional de Investigación y Transferencia de Tecnología Agropecuaria
TESCA: Tecnologías para el Sector Cañero-Azucarero con enfoque NAMA
TIC's: Tecnologías de la Información y la Comunicación
UICN: Unión Internacional para la Conservación la Naturaleza
UNFCCC: Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (siglas en inglés)
UTN: Universidad Técnica Nacional

Glosario

Seguidamente se presenta un breve glosario con términos relevantes para la comprensión del documento que tomados de fuentes internacionales (IPCC y UNFCCC), nacionales (LAICA, MAG, INEC) y otros son empleados habitualmente por la agroindustria cañero-azucarera.

Adaptación: Característica de un organismo, sometido a control genético, que contribuye a su reproducción y supervivencia en un entorno determinado; por medio del cual se ajusta y acomoda al ambiente, al entorno y a sus cambios. La adaptación climática y al cambio climático es un fenómeno fisiológico y circunstancial por el que los organismos aprenden una respuesta a un estímulo ambiental externo, moderando el daño o aprovechando sus beneficios. Es un proceso de aclimatación. Se pueden distinguir varios tipos de adaptación: la preventiva y la reactiva, la pública y privada, o la autónoma y la planificada (Real Academia de Ciencias, 1990; Mata y Quevedo, 1990; Hartmann et al, 1991; IPCC, 2001)¹.

Azúcar: producto derivado de la caña formulada y presentada en diversas formas comerciales, incluyendo la melaza o miel final comestibles y finas, los jarabes y cualquier otra forma de azúcar líquido. Exceptúa los azúcares no centrifugados de menor calidad como el “dulce de tapa” o la “panela” (LAICA 1998, 2000).

Calentamiento Global (CG): Incremento progresivo y gradual de la temperatura superficial de la tierra, debido a que la radiación térmica emitida por esta queda atrapada en la atmósfera por causa de los Gases de Efecto Invernadero (GEI). Es responsable de los cambios ocurridos en los patrones del clima (UNFCCC 2016)².

Cambio Climático (CC): 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 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 2022cde)³.

Caña Planta: Va referido al primer ciclo de desarrollo vegetativo natural del cultivo luego de sembrar la semilla. Corresponde a la primera cosecha de una plantación comercial de caña de azúcar (Chaves 2019b).

Caña Soca o Retoño: Son los ciclos de desarrollo vegetativo natural posteriores UTN: Universidad Técnica Nacional realizar la primera cosecha de una plantación de caña de azúcar. Se habla por ello de primera, segunda, tercera soca (retoño) o más socas que

corresponden respectivamente en lo práctico a la segunda, tercera y cuarta cosecha (Chaves 2019b).

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 (MO) que incluye además el carbono inorgánico bajo la forma de minerales de carbonato. El COS puede perderse en forma de CO₂ o metano (CH₄) al emitirlo 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 MO 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 2020o).

Ciclo o Vida Útil Comercial de la Plantación: Corresponde al número de cosechas sucesivas que se realice a una plantación comercial de caña de azúcar como planta y socas (retoños). Se busca tener un máximo de cosechas útiles, productivas y rentables.

Ciclo Vegetativo: Conjunto de eventos naturales de carácter fisiológico y metabólico ligados al desarrollo y ciclo general de vida de la planta de caña de azúcar, que va desde la siembra de la semilla, germinación de los retoños hasta la corta del cultivo. En Costa Rica va desde los 11 y hasta los 24 meses de edad dependiendo principalmente de la altitud (msnm) y la variedad. Genéricamente, el ciclo vegetativo de la caña sea planta o soca, se ha establecido en cuatro fases o etapas sucesivas: 1) germinación, emergencia y brotación de las yemas, 2) formación de macolla e ahijamiento hasta cierre de la plantación, 3) crecimiento acelerado del cultivo y 4) maduración y concentración de sacarosa en los tallos. Algunos autores ubican tres fases integrando la 1) y la 2) (Chaves 2019b).

Cosecha de Plantaciones: Se refiere expresamente al proceso continuo y sistemático de labores de corta, carga y transporte para procesamiento en el ingenio, de la caña de azúcar (materia prima) producida y recolectada en el campo. No debe confundirse con el concepto de zafra azucarera, pues la cosecha es apenas una parte importante de ella. Por lo general se da en el país entre los meses transcurridos entre diciembre a junio de cada año.

Dato de Actividad (DA): 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 combustibles 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): El CO₂eq es 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 (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)⁴.

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

Efecto Invernadero: Este efecto es originado a partir de la absorción que realizan los GEI presentes en la atmósfera de la radiación térmica emitida por el sol, por la tierra y por los océanos, la cual es repelida, reflejada e irradiada (devuelta) nuevamente de la atmósfera hacia la tierra, incrementando con ello la temperatura de su superficie; proceso de carácter natural que en condiciones normales y sin excesos permite mantener un clima aceptable que favorece la vida en la tierra.

Escalamiento: Fase posterior al pilotaje y consiste en un incremento significativo del área (hectáreas) intervenida con la tecnología sugerida y recomendada implementar por la NAMA. El mismo 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 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 (FE): 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).

Fase Primaria de Producción: Corresponde a la fase agrícola de producción de caña de azúcar en el campo, lo que incluye siembra, germinación, retoñamiento, ahijamiento, crecimiento, floración, maduración, hasta llegar a la cosecha.

Finca Piloto (FP): 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 (antropogénica), que absorben y emiten radiación infrarroja al medio; propiedad que ocasiona el efecto de calentamiento global (UNFCCC 1992; Chaves 2022bcd)¹.

Gigagramo (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.

Huella de Carbono: Procedimiento protocolario formal por medio del cual se identifican y miden la totalidad de GEI emitidos y que son liberados a la atmósfera por efecto directo o indirecto ocasionado por un individuo, organización, actividad, proceso o producto.

Ingenio Azucarero: Unidad fabril especializada dedicada al recibo y procesamiento de caña para la elaboración de azúcar y sus derivados, y que por sí constituye una unidad económica y administrativa (LAICA 1998, 2000).

Línea Base (LB): 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.

Metano (CH₄): Es un gas (hidrocarburo) de efecto invernadero que se produce por la descomposición o putrefacción anaerobia (sin oxígeno) de la materia orgánica y que puede incorporarse en la atmósfera tanto por procesos naturales, como por la descomposición de la materia en los pantanos, las filtraciones de gas de los depósitos de gas natural y petróleo del subsuelo, la digestión (fermentación entérica) del alimento del ganado y la descomposición de residuos animales y urbanos; también por actividades humanas como la producción de lubricantes y gas, el cultivo de arroz o la gestión de los residuos, la producción de carbón, y la combustión incompleta de combustibles fósiles. El metano es uno de los seis gases de efecto invernadero que se intenta reducir en el marco del Protocolo de Kioto (IPCC 2001)⁵.

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

Molienda: Periodo comprendido desde el inicio hasta completar y concluir la etapa de

industrialización de la caña de azúcar realizada por un ingenio en una zafra (LAICA 1998, 2000). El final lo marca el no procesamiento de caña y fabricación de azúcar y derivados.

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 antropogénica 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 (PP): 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.

Plan Piloto (PLP): 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).

Potencial de Calentamiento Global (PCG): Mide los efectos relativos de calentamiento global que diferentes gases ejercen sobre la Tierra, de cuánto calor puede ser atrapado por un determinado gas de efecto invernadero, en comparación con un gas de referencia, por lo general dióxido de carbono (CO₂). El índice describe las características radiactivas de los GEI bien mezclados y representa el efecto combinado de los diferentes tiempos que estos gases permanecen en la atmósfera y su eficiencia relativa en la absorción de radiación infrarroja saliente. Este índice se aproxima el efecto de calentamiento integrado en el tiempo de una masa-unidad de determinados GEI en la atmósfera actual, en relación con una unidad de CO₂ (IPCC, 2001)⁵.

Productividad Agroindustrial: Sinónimo de Rendimiento Agroindustrial, que combina e integra en un único valor la eficiencia agrícola (t caña/ha) y la industrial (kg sacarosa/t), se expresa como las toneladas métricas de azúcar obtenidas en una hectárea sembrada con caña y procesadas en el ingenio.

Productores Independientes (PI): Todas las personas físicas, jurídicas, sociedades de hecho, sucesiones, fideicomisos o encargos de confianza que produzcan caña de azúcar, sean propietarias, arrendatarias, fiduciarias, usufructuarias o poseedoras, por cualquier título legítimo, incluso el albaceazgo de una plantación. Ampara la entrega individual de hasta 5.000 toneladas métricas de caña por zafra, en uno o más ingenios comprendidos dentro de una misma zona.

Recarbonización del Suelo: Iniciativa que tiene como objetivo promover el almacenamiento de carbono orgánico en los suelos en uso agropecuario.

REDD+: Mecanismo establecido bajo la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMNUCC) para el pago por resultados por reducción de emisiones provocadas por la deforestación y degradación forestal, además del rol de la conservación de los bosques y la gestión e incremento de las reservas de carbono forestal. Significa "Reducción de Emisiones Derivadas de la Deforestación y la Degradación de los bosques"; el símbolo + implica que en su implementación hay componentes de conservación, gestión sostenible de los bosques con participación de población local y aumento de las reservas forestales de carbono.

Remanga: Práctica agrícola consistente en movilizar la biomasa residual (RAC) que queda en el campo luego de la cosecha de la caña, acordonándola entre los entresurcos de plantas o secciones de la plantación, con el objeto de favorecer la emergencia de los nuevos retoños y facilitar las labores agrícolas posteriores.

Rendimiento Agrícola: Se refiere a la cantidad de caña producida y cosechada que posee características y propiedades industrializables favorables, y es empleada por ello como materia prima en la extracción de sacarosa en el ingenio. Se expresa como las toneladas métricas de caña de azúcar cosechadas por hectárea (t/ha).

Rendimiento Agroindustrial: Es un indicador combinado de productividad muy revelador que surge al relacionar el rendimiento agrícola (t caña/ha) y el industrial (kg de sacarosa/t molida), que expresa la cantidad de azúcar fabricado por hectárea sembrada con caña.

Rendimiento Industrial: Corresponde a la concentración de sacarosa (96° Pol) contenida en los jugos de la caña (tallos) que es cosechada en el campo y procesada en el ingenio para fabricar azúcar y derivados. Se expresa en kilogramos de sacarosa extraída y recuperada por tonelada métrica de caña procesada en el ingenio (kg/t).

Residuos Agrícolas de Cosecha (RAC): Son los residuos biomásicos (orgánicos) remanentes que quedan depositados en el campo luego de realizar la cosecha manual o mecánica de la plantación, en verde o quemada. Consiste en hojas verdes y secas, tallos no industrializables, tallos frescos y secos, cogollos, retoños, restos de cepa y raíz.

Retoño: Brote que emerge de la cepa de la caña luego de cortada la planta y que no posee aún valor industrial. Es un estado inicial de crecimiento sobre el que se sustenta el tonelaje futuro de la plantación.

Secuestro: Proceso de aumento del contenido en carbono de un depósito de carbono que no sea la atmósfera. Desde un enfoque biológico incluye el secuestro directo de dióxido de

carbono de la atmósfera mediante un cambio en el uso de las tierras, forestación, reforestación y otras prácticas que mejoran el contenido de carbono en los suelos agrícolas. En condiciones naturales el carbono se incorpora al suelo a través del aporte continuo de material orgánico, principalmente de origen vegetal. En suelos cultivados el mayor aporte de C ocurre con los Residuos Agrícolas de Cosecha (RAC). Desde un enfoque físico incluye la separación y eliminación del dióxido de carbono (CO₂) procedente de gases de combustión o del procesamiento de combustibles fósiles para producir fracciones con un alto contenido de hidrógeno y dióxido de carbono y el almacenamiento a largo plazo bajo tierra en depósitos de gas y petróleo, minas de carbón y acuíferos salinos agotados (IPCC 2001)².

Sumidero: Reservorio (de origen natural o producto de la actividad humana, en suelos, océanos y plantas) en el que un gas de efecto invernadero, un aerosol o un precursor de un gas de efecto invernadero se almacenan. Cualquier proceso, actividad o mecanismo que remueve un gas de efecto invernadero, un aerosol o un precursor de un gas de efecto invernadero de la atmósfera.

Tecnologías NAMA para el Sector Cañero-Azucarero (TESCA): Buena Práctica Agrícola orientada a atender de manera integral según localidad y grado de necesidad, el objetivo de promover la mitigación de GEI e incrementar los índices de productividad de la cadena de valor de la caña, con énfasis en producción primaria.

Zafra: Referido al año azucarero, corresponde al periodo comprendido entre el primero de octubre del año y el 30 de setiembre del año siguiente, lo que la hace bianual. Por lo general se le confunde e iguala con el periodo de cosecha o molienda, el cual es apenas una parte de la zafra (LAICA 1998, 2000).

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

2/ http://unfccc.int/resource/cd_roms/na1/ghg_inventories/english/8_glossary/Glossary.htm

3/ <http://unfccc.int/resource/docs/convkp/convsp.pdf>

4/ www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/a00368.pdf

5/ <https://www.ipcc.ch/pdf/glossary/tar-ipcc-terms>



Resumen ejecutivo

El presente informe expone y comenta las principales acciones que con carácter estratégico fueron desarrolladas durante el periodo comprendido entre los meses de octubre 2021 y junio 2022, en el marco del proyecto sectorial orientado al diseño, formulación e implementación de la NAMA Caña de Azúcar, primera en el mundo, en su fase de producción primaria (agrícola).

La NAMA Caña de Azúcar plantea como meta sectorial propone desarrollar las condiciones y gestionar los recursos necesarios, para que a partir del año 2023 se inicie una fase con el establecimiento de 70 parcelas comparativas en Fincas Piloto (FP), correspondientes a 35 unidades productivas distribuidas en las seis regiones agrícolas que producen caña de azúcar en el país. En las mismas se desarrollarán por un periodo continuo de 5 años (2023-2027) experiencias comparando la tecnología del productor con las sugeridas por la NAMA, las cuales serán debidamente evaluadas y validadas en campo, siguiendo un estricto mecanismo de Medición, Revisión y Verificación y (MRV). Como siguiente fase los resultados positivos, ecoeficientes y eco-competitivos pasarán a una etapa de escalamiento con transferencia al sector productivo nacional para su correspondiente implementación en un área mayor a la involucrada en el piloto.

En las FP seleccionadas se validarán las estrategias, tecnologías y mecanismos propuestos para mitigar los GEI generados por la actividad productiva a partir de cuatro Fuentes de Emisión (FE) identificadas en el estudio como principales, como son: fertilizantes nitrogenados (63,7%), combustibles fósiles (18,3%), quema de biomasa (15,9%) y aplicación de enmiendas correctoras de acidez al suelo (2,2%). Complementariamente, se fija el incremento de los índices de productividad agroindustrial como una meta aspiracional también obligada e insoslayable de alcanzar.

La fase incremental de escalamiento (PE) en fincas comerciales opera en tres etapas sucesivas y complementarias, iniciando luego del tercer año (2025) hasta lograr en el 2032 cubrir el 75% del área nacional sembrada (60.668 hectáreas) actualmente con caña destinada a la fabricación de azúcar, estimada en 45.501 hectáreas. Se espera alcanzar con dichas acciones estratégicas un grado de mitigación importante (Gg CO₂eq), consecuente con cada uno de los tres escenarios propuestos implementar en cada región agrícola: Optimista, Intermedio y Conservador. En lo pragmático el proyecto NAMA Caña de Azúcar Costa Rica se estructura y desarrolla con la operación de seis subproyectos regionales integrados en uno nacional, lo que hace más complejo, pero a su vez más representativas el alcance de las medidas de mitigación implementadas.

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 conformado por ejes transversales, tácticas, medidas y actividades estratégicas orientadas en varias áreas de gestión técnico institucional, donde deberán desarrollarse las acciones previstas implementar para superar las barreras existentes.

Seguidamente las principales acciones y actividades para el diseño de la NAMA Caña de Azúcar de manera desagregada para cada una de las seis regiones productoras del país, al igual que la caracterización socio económica y organizacional de la agroindustria. Son entre otras las siguientes:

- a. Desarrollo de trascendentes reuniones de información, análisis, valoración y concertación con los tres órganos superiores de dirección de la agroindustria azucarera costarricense (LAICA, Federación de Cámaras de Productores de Caña y Cámara de Azucareros), con el objeto de estudiar la razonabilidad, beneficios, riesgos y alcances de proceder con la aceptación de la NAMA como proyecto sectorial.
- b. Conformación de equipos de trabajo con participación de calificados profesionales de varias disciplinas e instituciones.
- c. Realización de numerosas reuniones grupales de análisis y discusión sobre diferentes tópicos buscando criterio experto interdisciplinario e interinstitucional en la concertación y presentación de la propuesta final.
- d. Se formuló, analizó y definió con sentido pragmático el perfil de la propuesta de contenido del informe NAMA, como documento orientador de trabajo.
- e. Se avanzó en la caracterización socioeconómica y organizacional de la actividad primaria y agroindustrial del sector cañero-azucarero.
- f. Se diseñó, analizó y ajustaron los términos de referencia de la encuesta dirigida a Productores Independientes (PI), empresas e ingenios que producen caña para identificar y cuantificar como elemento decisorio fundamental, las fuentes potenciales de emisión de GEI.
- g. Se realizó una valoración y determinación de la muestra con trasfondo técnico y representativo de la cantidad y calidad de las unidades productivas necesario consultar para obtener información sobre fuentes de emisión de GEI.
- h. La encuesta a productores, empresas e ingenios aplicó geográficamente en las seis regiones productoras de caña del país.
- i. Realizaron consultas dirigidas a grupo técnico sectorial conformado por profesionales especialistas y conocedores del cultivo, ubicados en ingenios, Cámaras de Productores de Caña (6) y LAICA, examinando asuntos (medidas-barreras) que se estima contribuyen con la emisión de GEI; así como con las acciones y mecanismos propuestos y recomendados para su remoción.
- j. Se dirigió consulta a profesionales de DIECA, LAICA y Gerentes de los 11 Ingenios azucareros activos y vigentes, sobre el eventual y posible potencial de crecimiento y tendencia de siembra de las plantaciones comerciales para el periodo 2022-2050.
- k. Se recabó, organizó y analizó la información disponible sobre áreas (hectáreas) de siembra de caña en el país, desagregada por región agrícola, proyectada por consideración técnica en dos periodos 1985-2020 y 2010-2020. Esta información fue vital en la definición de la Línea Base.
- l. Se estimó y proyectó el posible crecimiento de las áreas de cultivo para el periodo 2022-2050 (28 años) para cada una de las 6 regiones productoras, operado por cuatro vías diferentes: a) proyectado con métodos matemático-estadístico, b) consultó criterio de dirigentes y Gerentes de ingenio, c) empleando criterio experto de grupo de especialistas y d) se consultó criterio regional a especialistas profesionales DIECA.
- m. La tasa de crecimiento territorial por región agrícola productora de caña y país se definió de manera conjunta y bien fundamentada dando lugar a la Línea Base (LB).
- n. Se organizaron, revisaron y ajustaron los datos de actividad recabados con la encuesta en tres indicadores básicos referentes: 1) fertilización nitrogenada, 2) gasto de combustible y 3) uso de enmiendas al suelo.
- o. Los índices de emisión específicos se estimaron para cada una de las fuentes anteriores por región y país, buscando la máxima representatividad y precisión. Con ello se estimó la emisión total de GEI.
- p. A partir de lo anterior se definieron sectorialmente tres escenarios (Optimista, Intermedio, Conservador) viables de acción regional y nacional para mitigar los GEI en los términos previstos y acordados.

- q. Los escenarios de mitigación regional y nacional se fundamentaron en la planificación, implementación y ejecución de estrategias, tácticas, medidas, prácticas, labores y acciones orientadas en varias vías (tecnológicas, materiales, infraestructura, administrativas, económicas) de aplicación viable y factible según la condición. El alcance de las medidas visualiza y privilegia la mejora de los índices de productividad regional y nacional.
- r. Se procedió con el Diseño Operacional y de Gobernanza de la NAMA.
- s. Se definieron y construyeron los indicadores básicos y establecieron las medidas concernientes al Sistema de Monitoreo, Revisión y Verificación (MRV), requeridas para fiscalizar el avance en la ejecución de la iniciativa.
- t. Los costos implícitos en la ejecución de la fase primaria de pilotaje fueron determinados con gran detalle, ubicando lo concerniente a gastos de inversión y operación en US\$2.552.135. Así mismo se proyectó los recursos estimados para acompañar la etapa de escalamiento, estimados en US\$3.886.600 para un total integrado de US\$6.438.735.
- u. Fueron identificadas y sugeridas las posibles opciones de financiamiento crediticio para desarrollar la fase de pilotaje y posterior escalamiento del proyecto.
- v. El tema de la comercialización de “azúcar bajo en emisiones” fue abordado con visión de futuro señalando las pautas y medidas a seguir.
- w. Se diseñó el “Manual Descriptivo y Operativo. Piloto Nacional Caña de Azúcar. Costa Rica.”, el cual servirá como guía orientadora de trabajo en el campo para productores y técnicos involucrados.

Actividades desarrolladas

Las actividades desarrolladas en el periodo analizado fueron orientadas en varias direcciones, procurando cumplir con los compromisos establecidos y suscritos entre partes en el Contrato FAPS-2021-03-LAICA del 21 de diciembre 2021. Se avanzó en la formulación y presentación de los cuatro módulos acordados abordar y entregar para revisión de manera programada en tiempo y contenido. A continuación, se comentan algunos de esos asuntos.

Reuniones técnicas y de orientación

Con el objeto de organizar, analizar, comentar y orientar de manera ordenada y planificada en torno al grado de avance logrado en los asuntos técnicos de interés general y específico

desarrollados, se realizaron y efectuaron una gran cantidad de reuniones de carácter y trasfondo técnico, organizacional y administrativo, como se detalla de manera genérica en el Cuadro 1.

Cuadro 1.

Reuniones de coordinación sostenidas en el periodo analizado.

| No. | Fecha | Cantidad | Motivos | Participantes |
|-------|-----------------------------|----------|--|---|
| 1 | 2 de diciembre 2021 | 1 | Tema: Desarrollo encuesta de campo | Técnicos DIECA |
| 2 | 7 de enero 2022 | 2 | Tema: Proyección Áreas Cañeras | Técnicos DIECA; Zaida Solano V.; Ivannia Chaves y Sandra Vega H. |
| | | | Tema Comercialización azúcar baja en emisiones | |
| 3 | 13 de enero 2022* | 1 | Coordinación de actividades, presentación informes, cumplimiento de tiempos | Grupo Experto y Administrativo LAICA OSACD |
| 4 | 19 de enero 2022* | 1 | Técnico: Definición Línea Base | Grupo Experto LAICA |
| 5 | 24 de enero 2022 | 1 | Técnico: Definición Línea Base | Grupo Experto LAICA Técnicos DIECA |
| 6 | 26 de enero 2022 | 1 | Organización e Informe | Grupo Experto y Administrativo LAICA |
| 7 | 1 de febrero 2022 | 1 | Técnico: Ajuste datos de Actividad | Grupo Experto LAICA |
| 8 | 2 de febrero 2022 | 1 | Junta de Alto Nivel | Grupo Experto; Edgar Herrera E. (LAICA); Christian Ocampo (FEDECAÑA); Alejandro Miranda (Cámara Azucareros) |
| 9 | Diciembre 2021 - enero 2022 | 15 | Asuntos técnicos varios | Marco Chaves S. y Johnny Montenegro B. |
| 10 | 23 de marzo 2022* | 3 | Presentación informes de avance (Diseño Operacional, Gobernanza, MRV, Financiamiento, Plan Piloto, etc). | Grupo Experto y Administrativo LAICA OSACD |
| | 27 de abril 2022* | | | |
| | 25 de mayo 2022 | | | |
| 11 | 5 de mayo 2022 | 1 | Plataforma de reporte y MRV | LAICA y SINAMECC |
| Total | | 28 | | |

* Reuniones presenciales, el resto fueron virtuales.

Los temas y asuntos tratados en dichas reuniones fueron muy dinámicos, variados, interdisciplinarios y hasta mediáticos en algunos casos de acuerdo con la necesidad del momento; pero en general se concentraron en tópicos de índole técnico, organizacional, administrativo, de seguimiento y orientación sobre la labor desarrollada y prevista ejecutar en cada caso. Para esta labor se contó con un calificado, experimentado y selecto grupo profesional de 24 personas vinculado directamente con los tópicos sectoriales y técnicos tratados.

Las personas asistentes y consultadas de estas se anotan en el Cuadro 2.

Cuadro 2.

Funcionarios participantes en reuniones grupales.

| No. | Funcionario | Institución |
|-----|------------------------------|---------------------------------------|
| 1 | Alvarez Rodríguez, Fabian | LAICA DIECA Zona Norte |
| 2 | Angulo Marchena, Álvaro | LAICA DIECA Guanacaste |
| 3 | Barrantes Mora, Julio C. | LAICA DIECA Zona Sur |
| 4 | Bermúdez Acuña, Luis | LAICA Asesor Técnico |
| 5 | Bolaños De Ford, Fernando | LAICA Gerente Departamento Técnico |
| 6 | Calderón Araya, Gilberto | LAICA DIECA Turrialba |
| 7 | Céspedes Mata, Jorge | LAICA Gerente Financiero |
| 8 | Chacón Navarro, Mauricio | OSACD Director |
| 9 | Chavarría Soto, Erick | LAICA DIECA Nacional |
| 10 | Chaves Jimenez, Ivania | LAICA Gerente de Exportaciones |
| 11 | Chaves Solera, Marco A. | LAICA Consultor y Coordinador Técnico |
| 12 | González Mora, Braulio A. | LAICA DIECA Guanacaste |
| 13 | Herrera Echandi, Edgar | LAICA Director Ejecutivo |
| 14 | Medina Mora, Irene | LAICA Ingeniera Ambiental |
| 15 | Montenegro Ballester, Johnny | INTA-IMN Asesor Técnico |
| 16 | Miranda Lines, Alejandro | Cámara de Azucareros Presidente JD |
| 17 | Ocampo Chinchilla, Randall | LAICA DIECA Valle Central-PC |
| 18 | Ocampo Vargas, Christian | FEDECAÑA Director Ejecutivo |
| 19 | Rodríguez Chaves, Edgar | LAICA Gerente Contable |
| 20 | Rodríguez Morales, Alejandro | LAICA Gerente DIECA |
| 21 | Solano Valverde, Zaida | LAICA Gerente de Sostenibilidad |
| 22 | Vargas Gutiérrez, Tatiana | OSACD |
| 23 | Vega Arias, Rigoberto | LAICA, Asesor Jurídico |
| 24 | Vega Herrera, Sandra | LAICA Gerente de Ventas Nacionales |

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, fertilizantes nitrogenados, quema de biomasa) y ganadera y del manejo de los desechos agroindustriales y urbanos 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 dirigidas 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. Diseño técnico de la NAMA

1.1. Actualización del contexto y diagnóstico del sector

La contextualización sectorial e institucional se realiza basada en información primaria y secundaria comprobable y verificable, la cual está disponible en centros de referencia nacional, como por ejemplo la Biblioteca Virtual disponible en LAICA en el siguiente enlace: <http://servicios.laica.co.cr/laica-cv-biblioteca/>.

1.1.1. Internacional

1.1.1.1. Producción mundial

El mercado donde se comercializa el azúcar en el mundo está conformado por el denominado mercado preferencial y el mercado libre. El primero comprende el azúcar que se comercializa bajo arreglos y acuerdos especiales (convenios, tratados), por ello preferenciales, entre países a nivel bilateral o multilateral; los cuales otorgan algún grado de estabilidad y precios por lo general superiores a los que rigen el mercado alternativo, mundial o libre. Este último comprende el comercio del azúcar restante, caracterizado por mostrar alta volatilidad con fluctuaciones constantes de los precios en periodos cortos de tiempo.

El azúcar se produce en el mundo en cerca de 110 países a partir de dos materias primas: **caña y remolacha**. Actualmente la producción mundial de azúcar proviene aproximadamente en un 20% de la remolacha y un 80% de la caña; siendo la primera de muy baja presencia en el Continente Americano y en los países del tercer mundo.

El azúcar virtud de su amplio uso comercial y relativa rusticidad de la planta de caña es producido en muy diversas condiciones y ambientes, como lo revela el Cuadro 3 adjunto, al ubicar los 25 países de mayor producción, liderados por Brasil, India, Unión Europea, Tailandia y China, los cuales acumulan y concentran un 60,2% de toda la producción mundial. En el Continente Americano la producción de caña es muy importante, concentrando su producción en ocho (32%) naciones: Brasil, Estados Unidos, México, Guatemala, Colombia, Argentina, Perú y Cuba, los cuales representan el 34,3% de toda la producción del orbe.



Nótese que Guatemala ocupa el puesto N° 13 a nivel mundial, lo que revela la posición estratégica y altamente competitiva en que se encuentra ubicada geográficamente Costa Rica respecto a esos mercados productivos. Cualquier condición de cambio, positivo o negativo, que acontezca en cualquiera de los países productores o consumidores mayoritarios indudablemente moviliza la situación del mercado en materia de volúmenes y precios.

Cuadro 3.

Producción mundial de azúcar centrifugada. 1000 Toneladas Métricas, Valor Crudo.

| País | 2019/20 | 2020/21 | Mayo 2021/22 | Part (%) |
|----------------|----------------|----------------|----------------|--------------|
| Brasil | 30.300 | 42.050 | 39.920 | 21,52 |
| India | 28.900 | 33.760 | 34.700 | 18,70 |
| UE | 16.556 | 14.717 | 15.800 | 8,52 |
| Tailandia | 8.294 | 7.570 | 10.603 | 5,71 |
| China | 10.400 | 10.500 | 10.600 | 5,71 |
| Estados Unidos | 7.392 | 8.436 | 8.446 | 4,55 |
| Pakistán | 5.400 | 6.010 | 6.840 | 3,69 |
| México | 5.596 | 6.175 | 6.158 | 3,32 |
| Rusia | 7.800 | 5.750 | 6.100 | 3,29 |
| Australia | 4.285 | 4.335 | 4.400 | 2,97 |
| Egipto | 2.740 | 2.780 | 2.855 | 1,54 |
| Turquía | 2.750 | 2.800 | 2.800 | 1,51 |
| Guatemala | 2.764 | 2.622 | 2.700 | 1,46 |
| Colombia | 2.350 | 2.220 | 2.400 | 1,29 |
| Indonesia | 2.250 | 2.130 | 2.200 | 1,19 |
| África del Sur | 2.295 | 2.106 | 2.174 | 1,17 |
| Filipinas | 2.150 | 2.100 | 2.100 | 1,13 |
| Irán | 1.180 | 1.750 | 1.950 | 1,05 |
| Argentina | 1.750 | 1.830 | 1.550 | 0,84 |
| Ucrania | 1.638 | 1.134 | 1.399 | 0,75 |
| Perú | 1.197 | 1.265 | 1.300 | 0,70 |
| Cuba | 1.200 | 900 | 1.100 | 0,59 |
| Reino Unido | 1.191 | 900 | 1.000 | 0,54 |
| Vietnam | 850 | 810 | 890 | 0,48 |
| Japón | 820 | 800 | 830 | 0,45 |
| Otros | 14.237 | 14.405 | 14.722 | 7,93 |
| Total | 166.285 | 179.855 | 185.537 | 100,0 |

Fuente: LAICA (2022).

1.1.1.2. Consumo mundial

Desde el punto de vista del consumo, los cinco mercados más relevantes lo constituyen India, Unión Europea, China, Estados Unidos y Brasil, como se muestra en la Figura 1; lo que demuestra que producción y consumo van muy de la mano. Precisamente una de las situaciones que distorsionan el mercado lo constituye el incremento en el grado de autosuficiencia que buscan alcanzar algunos de los principales importadores, con lo que disminuyen la proporción de la demanda por azúcar importado.

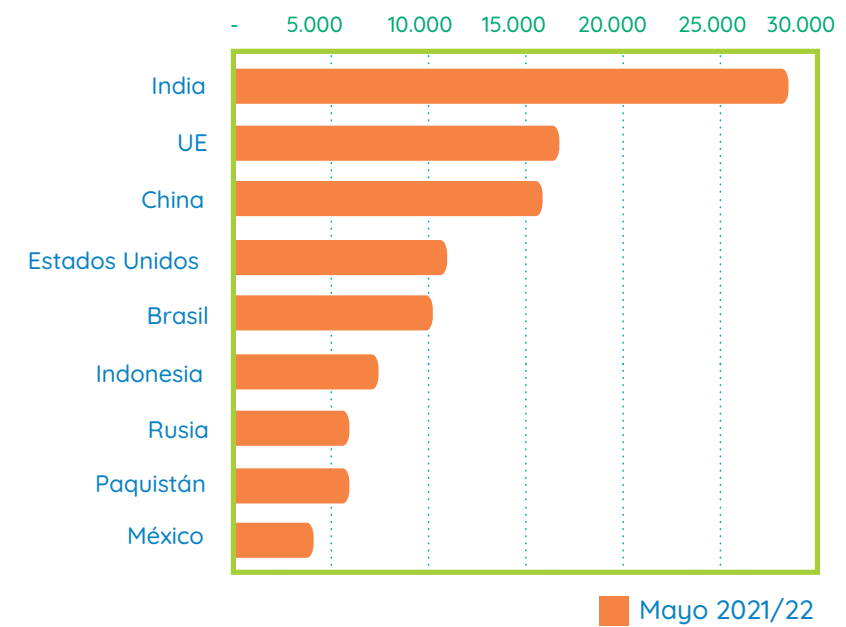


Figura 1.

Consumo Mundial de Azúcar 1,000 Toneladas Métricas, Valor Crudo.

El mercado azucarero es considerado comercialmente uno de los más distorsionados del mundo debido a varias circunstancias que lo intervienen y distorsionan, como son las políticas proteccionistas que la mayoría de las naciones ha establecido en defensa de su producción nacional. Es así como la intervención del Estado a través de la aplicación de subsidios, medidas de defensa comercial y otros instrumentos de política comercial; la existencia de excedentes de producción en algunos de los principales países exportadores, y una demanda

incierto favorecida por el drástico cambio surgido en los gustos y preferencias de los consumidores, causado por las nuevas tendencias de vida saludable.

Un factor importante y de gran incidencia en la estructura y conformación del mercado mundial del azúcar es la existencia de un excedente crónico que presiona sistemáticamente los precios hacia la baja, propiciando largos periodos de cotizaciones por debajo de los costos de producción, aún de los productores más eficientes, alternados con lapsos relativamente cortos a precios altos.

1.1.3. Contexto actual

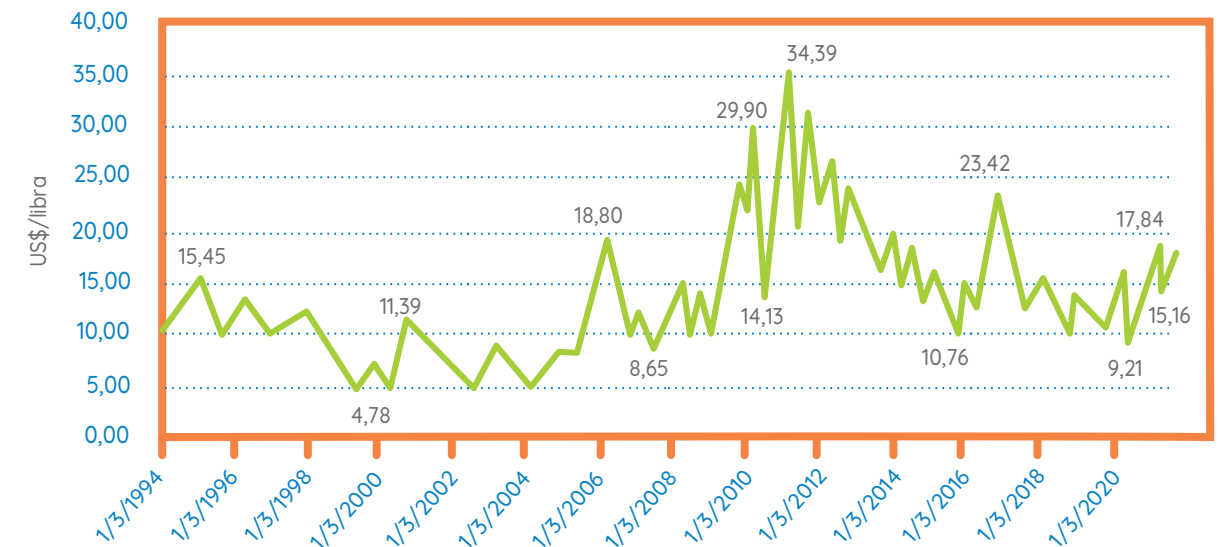
Recientemente se vienen observando algunos eventos a nivel internacional que perfilan la situación prevaleciente y posiblemente próxima a suceder en el corto-mediano plazo; razón por la cual se estima (Departamento de Agricultura de los Estados Unidos - USDA) que para la zafra 2020/2021 la producción mundial crecerá posiblemente cerca de 16 millones de toneladas métricas. Las razones de dicho aumento se fundamentan sucintamente en circunstancias como las siguientes:

- Una mayor proporción de la caña destinada en principio a la producción de etanol será redireccionada a la fabricación de azúcar en Brasil.
- Medidas de política interna implementadas por Paquistán, quinto productor de azúcar del mundo, orientadas a subvencionar los costos de transporte, aumentar la cuota de exportación, incorporar una política de precios mínimos para los productores y aplicación de un arancel de importación del 40%.
- Aprobación en la India, segundo mayor productor, para la aplicación de un subsidio y fijación de precios para el azúcar.
- La eliminación (desde octubre del 2017) del sistema de cuotas de producción de azúcar por parte de la Unión Europea (UE), permitió que algunos países miembros pasaran de importadores a exportadores netos, es otro factor que ha incidido sobre la oferta mundial.
- La aplicación de una medida de salvaguardia por China al azúcar importado también ha afectado la disponibilidad mundial de azúcar en el mercado internacional.
- La demanda fue afectada e impactada de manera muy significativa por causa de la Pandemia del COVID-19.

- El cambio acontecido en las tendencias del consumo también ha tenido un fuerte impacto sobre el equilibrio entre oferta y demanda en el mercado azucarero.

1.1.1.4. Evolución de los precios

En la Figura 2 se expone la dinámica, variable e inestable evolución histórica que ha el precio internacional de azúcar durante el periodo 1994-2021 (27 años).



En la Figura 2

Evolución del Precio Internacional (US\$/libra) del Azúcar Periodo: 1994-2021.

1.1.2. Nacional

1.1.2.1. Producción

En lo que corresponde al ámbito interno, el Cuadro 4 complementado con la información contenida en el Anexo 1, favorecen y posicionan la situación de cada región agrícola productora de caña destinada a la fabricación de azúcar en el entorno nacional. Los datos son actuales correspondiendo a valores de la última zafra 2020-2021 realizada en el país. Como se infiere, existen grandes y muy significativas diferencias en prácticamente todos los indicadores expuestos, sean de producción o productividad agrícola e industrial.

Destaca la región de Guanacaste al producir y procesar el 59,2% (2.363.605 toneladas métricas) de toda la caña molida (3.995.020 t) en esa zafra en el país, la cual procedía territorialmente del 57,4% correspondiente a 31.777 hectáreas del área (55.357 ha) cosechada. Con esa materia prima se fabricó el 61,3% (260.425 toneladas) de todo el azúcar costarricense elaborado en ese periodo correspondiente a 425.178 toneladas o 8.503.560 bultos de 50 kilogramos 96 grados de polarización.

A la región Guanacasteca le sigue en importancia productiva la Zona Norte, representada por los cantones de San Carlos y Los Chiles, al fabricar el 12,3% (52.098 t) del azúcar a partir del procesamiento del 14,1% (561.747 t) de la caña. Esas dos regiones representan conjuntamente el 71,1% del área cosechada, el 73,3% de la materia prima procesada y el 73,6% de todo el azúcar fabricado en Costa Rica, lo que revela su importancia. En contrario, la región de Turrialba-Juan Viñas es en la actualidad la de menor participación con valores de 5,5%, 5,2% y 5,0% para los mismos indicadores.

En términos de rendimientos agroindustriales expresados en los indicadores básicos determinantes de calidad y competitividad, se tiene que la mayor productividad agrícola se observó cómo era esperable en la región de Guanacaste con 74,4 toneladas métricas por hectárea (t/ha); lo cual, asociada a una concentración promedio de sacarosa de 110,18 kilogramos recuperados por tonelada métrica de caña molida (kg/tcm), generaron una productividad agroindustrial promedio combinada de 8,20 t de azúcar fabricada/ha y la extracción complementaria de 36,0 kg de melaza (miel final)/tmc.

La menor productividad se verificó en esa zafra en el Pacífico Central con un rendimiento de 5,85 toneladas de azúcar/ha, inducido por su baja concentración de sacarosa en los tallos de la materia prima procesada de 95,92 kg/tmc. En lo concerniente al ámbito social se nota que la cantidad de agricultores participantes en la siembra, producción y entrega de materia prima a los ingenios (11) activos y vigentes actualmente en cada región agrícola durante esa zafra, es muy variable en magnitud; participando la Zona Sur con el 42,9% correspondiente a 2.227 Productores Independientes, seguido por la Zona Norte con el 21,4% (1.111) y más distante el Valle Central con el 15,6% (807 entregadores).

Cuadro 4.

Resultados agroindustriales finales de la Zafra 2020-2021 según región productora.

| Región | Área cosechada* | | No. Ingenios | Caña Molida | | Azúcar Fabricada | | Rendimiento Industrial (kg/tmc) | Productividad (tm/ha) | | Rendimiento Melaza (kg/tmc) | Relación Caña/Azúcar** | Entregadores | |
|----------------|-----------------|------------|--------------|------------------|------------|------------------|------------|---------------------------------|-----------------------|-------------|-----------------------------|------------------------|--------------|------------|
| | Hectáreas | % | | T.M. | % | T.M. | % | | Caña | Azúcar | | | No. | No. |
| Guanacaste | 31.777 | 57,4 | 3 | 2.363.605 | 59,2 | 260.425 | 61,3 | 110,18 | 74,38 | 8,20 | 36,00 | 9,08 | 753 | 14,5 |
| Puntarenas | 5.560 | 10,0 | 1 | 346.134 | 8,7 | 32.517 | 7,6 | 95,92 | 62,26 | 5,85 | 42,15 | 10,64 | 42 | 0,8 |
| Zona Norte | 7.560 | 13,7 | 3 | 561.747 | 14,1 | 52.098 | 12,3 | 94,62 | 66,32 | 6,34 | 33,20 | 10,51 | 1.111 | 21,4 |
| Valle Central | 3.381 | 6,1 | 2 | 244.937 | 6,1 | 27.781 | 6,5 | 109,06 | 71,09 | 6,89 | 42,66 | 9,61 | 807 | 15,6 |
| Zona Sur | 4.018 | 7,3 | 1 | 269.544 | 6,7 | 31.096 | 7,3 | 127,43 | 67,08 | 7,74 | 39,65 | 8,67 | 2.227 | 42,9 |
| Turrialba - JV | 3.061 | 5,5 | 1 | 209.052 | 5,2 | 21.262 | 5,0 | 101,71 | 68,29 | 6,95 | 36,67 | 9,85 | 248 | 4,8 |
| Total | 55.357 | 100 | 11 | 3.995.020 | 100 | 425.178 | 100 | 106,43 | 72,13 | 7,68 | 36,85 | 9,40 | 5.188 | 100 |

Fuente: Departamento Técnico LAICA (2022)

Nota: valores de azúcar dados en 96 grados de polarización.

Nota: para convertir toneladas métricas de azúcar a bultos de 50 kg se debe multiplicar por 20.

*Corresponde al área efectivamente cosechada y no apenas a la sembrada.

**Se refiere a la cantidad de caña que es necesario moler para fabricar una tonelada métrica de azúcar

A manera de conclusión puede asegurarse que los indicadores de productividad o rendimiento agroindustrial nacionales no son competitivamente los mejores, cuando comparados con los obtenidos por naciones referentes por elevado su nivel de competitividad como Australia, Colombia, Guatemala y EUA; aunque comparables y hasta superiores respecto a Brasil, India, Cuba, Argentina, México y otras naciones del mundo (África, Asia y Oceanía) y Centro, Sur y Caribe en el Continente Americano.

Una valoración más amplia en perspectiva revela, como se indica en el Anexo 1 y señalaran Chaves y Bermúdez (2020), Chaves y Chavarría (2021a) y Chaves (2021a, 2022ab), que la producción se ha incrementado significativamente en el tiempo, evidenciando, sin embargo, una distorsión con alta variabilidad productiva luego de la zafra 2003-2004 y por las últimas 17 zafras como resultado de varias situaciones mediáticas y coyunturales asociadas a factores climáticos, ambientales, biológicos, económicos, comerciales, sociales y legales, entre otros. El Cuadro 5 expone un histórico de los principales indicadores de producción y productividad que caracterizan y tipifican la agroindustria azucarera nacional en términos agroproductivos.



Cuadro 5

Histórico de índices de producción y rendimiento agroindustrial del sector azucarero costarricense. Periodo 2003-2020.

| Zafra | Área ¹⁾ (ha) | | | Caña Procesada (t) | Azúcar ²⁾ Fabricada (t) | Rendimientos | | | | Relación Caña/Azúcar ³⁾ | |
|---------|-------------------------|-----------|-----------|--------------------|------------------------------------|-----------------|------------|----------------|-----------------------------|------------------------------------|---------------|
| | Sembrada | Cosechada | % Cosecha | | | Agrícola (t/ha) | Industrial | | Azúcar (t/ha) ²⁾ | | Melaza (kg/t) |
| | | | | | | | % | 96° Pol (kg/t) | | | |
| 2003-04 | 50.400 | 49.000 | 97,2 | 3.959.185 | 413.388,5 | 80,80 | 10,44 | 104,41 | 8,44 | 38,94 | 9,58 |
| 2004-05 | 51.200 | 49.200 | 96,1 | 3.804.075 | 404.673,7 | 77,32 | 10,64 | 106,38 | 8,23 | 38,88 | 9,40 |
| 2005-06 | 52.600 | 49.300 | 93,7 | 3.615.584 | 382.825,0 | 73,34 | 10,59 | 105,88 | 7,77 | 36,62 | 9,44 |
| 2006-07 | 55.600 | 53.300 | 95,9 | 4.152.799 | 417.438,9 | 77,91 | 10,05 | 100,52 | 7,83 | 40,62 | 9,95 |
| 2007-08 | 54.550 | 52.500 | 96,2 | 3.561.378 | 373.194,3 | 67,84 | 10,48 | 104,79 | 7,11 | 36,89 | 9,54 |
| 2008-09 | 53.030 | 49.030 | 92,5 | 3.492.281 | 361.836,7 | 71,23 | 10,36 | 103,61 | 7,38 | 37,94 | 9,65 |
| 2009-10 | 55.730 | 51.850 | 93,0 | 3.918.882 | 390.175,9 | 75,58 | 9,95 | 99,49 | 7,52 | 44,50 | 10,05 |
| 2010-11 | 57.480 | 54.300 | 94,5 | 3.320.596 | 355.078,7 | 61,15 | 10,69 | 106,94 | 6,54 | 37,35 | 9,35 |
| 2011-12 | 57.600 | 53.700 | 93,2 | 3.823.114 | 415.074,6 | 71,19 | 10,86 | 108,57 | 7,73 | 40,53 | 9,21 |
| 2012-13 | 63.316 | 58.980 | 93,2 | 4.340.603 | 458.387,4 | 73,59 | 10,56 | 105,60 | 7,77 | 45,42 | 9,47 |
| 2013-14 | 63.205 | 58.742 | 92,9 | 4.492.123 | 481.493,7 | 76,47 | 10,72 | 107,19 | 8,20 | 41,28 | 9,33 |
| 2014-15 | 64.676 | 59.161 | 91,5 | 4.422.451 | 465.701,6 | 74,75 | 10,53 | 105,30 | 7,87 | 44,66 | 9,96 |
| 2015-16 | 65.485 | 58.225 | 88,9 | 4.396.458 | 445.988,2 | 75,51 | 10,14 | 101,44 | 7,66 | 46,14 | 9,86 |
| 2016-17 | 64.250 | 56.355 | 87,7 | 4.343.890 | 452.160,0 | 77,08 | 10,41 | 104,09 | 8,02 | 41,59 | 9,61 |
| 2017-18 | 60.000 | 55.070 | 91,8 | 4.054.141 | 431.109,0 | 73,62 | 10,63 | 106,34 | 7,83 | 36,84 | 9,40 |
| 2018-19 | 62.630 | 54.548 | 87,1 | 4.025.447 | 442.187,4 | 73,80 | 10,99 | 109,85 | 8,11 | 40,89 | 9,10 |
| 2019-20 | 62.604 | 56.689 | 90,6 | 4.092.123 | 440.393,2 | 72,19 | 10,76 | 107,62 | 7,77 | - | 9,29 |
| 2020-21 | 60.668 | 55.357 | 91,2 | 3.995.020,0 | 425.178 | 72,13 | 10,64 | 106,43 | 7,68 | 36,85 | 9,40 |

Fuente: adaptado y ajustado de Chaves (2021a, 2022ab); Chaves y Chavarría (2021b).

1) Corresponde al Área efectiva de caña cosechada No a la sembrada, que es diferente.

2) Azúcar dada en 96o Pol. Para referir a bultos de 50 kg debe multiplicarse x un factor de 20.

3) Se refiere a la cantidad (t) de caña necesaria moler para fabricar en el Ingenio una tonelada métrica de azúcar.

1.1.2.2. Exportaciones

El rumbo de las exportaciones de azúcar nacional es bastante dinámico en cuanto a mercados de destino se refiere, como lo demuestra el Cuadro 6 para las últimas cinco zafras del periodo 2017-2021, donde se mencionan y ubican 27 sitios diferentes pertenecientes a Europa, Asia, Oceanía y América.

En términos de volumen exportado los principales destinos del endulzante costarricense para ese periodo se concentraron en siete países que corresponden a EUA con el 42%, seguido por Korea (15,4%), China (12,7%), Canadá (10,6%), Reino Unido (8%), Nueva Zelanda (3,8%) e Indonesia (2,1%), los cuales integralmente representaron el 94,6% de las ventas externas. En el año 2021 las exportaciones tuvieron como destino 20 países, siendo los cinco principales EUA, Korea, Canadá y Nueva Zelanda en porcentajes del 38,6%, 33,1%, 12% y 6,1%, respectivamente, para un 89,8% conjunto. No cabe duda de que la gestión comercial desarrollada es amplia, dinámica y efectiva.



Cuadro 6.

Exportaciones del azúcar costarricense según destino (27). Periodo 2017-2021.

| Destino | Año | | | | | Total | % | Promedio |
|----------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|--------------------|------------|------------------|
| | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | | | |
| Estados Unidos | 133.043,8 | 70.588,4 | 101.461,5 | 78.738,0 | 80.433,2 | 464.264,8 | 42,00 | 92.853,0 |
| Reino Unido | 16.300,1 | 16.544,0 | 33.400,0 | 16.000,0 | 6.102,0 | 88.346,1 | 7,99 | 17.669,2 |
| Canadá | 0,0 | 28.799,4 | 61.530,0 | 2.000,0 | 25.000,0 | 117.329,4 | 10,62 | 23.465,9 |
| Korea | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 101.060,0 | 68.900,0 | 169.960,0 | 15,38 | 33.992,0 |
| Indonesia | 23.441,8 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 23.441,8 | 2,12 | 4.688,4 |
| Nueva Zelanda | 29.918,8 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 12.640,4 | 42.559,2 | 3,85 | 8.511,8 |
| República Checa | 2.080,0 | 1.020,0 | 1.000,0 | 2.639,5 | 0,0 | 6.739,5 | 0,61 | 1.347,9 |
| China | 55.000,0 | 85.000,0 | 14,4 | 0,0 | 0,0 | 140.014,4 | 12,67 | 28.002,9 |
| Lithuania | 220,0 | 240,0 | 0,0 | 0,0 | 220,0 | 680,0 | 0,06 | 136,0 |
| Bulgaria | 0,0 | 0,0 | 40,0 | 240,0 | 100,0 | 380,0 | 0,03 | 76,0 |
| Israel | 0,0 | 0,0 | 75,0 | 299,0 | 367,0 | 741,0 | 0,07 | 148,2 |
| Grecia | 0,0 | 0,0 | 400,0 | 650,0 | 1.145,0 | 2.195,0 | 0,20 | 439,0 |
| Holanda | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 396,0 | 396,0 | 0,04 | 79,2 |
| Murcia | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 20,0 | 20,0 | 0,002 | 4,0 |
| Alemania | 0,0 | 0,0 | 60,0 | 1.000,0 | 1.181,2 | 2.241,2 | 0,20 | 448,2 |
| España | 0,0 | 0,0 | 267,0 | 300,0 | 425,1 | 992,1 | 0,09 | 198,4 |
| Italia | 200,0 | 240,0 | 103,0 | 0,0 | 420,0 | 963,0 | 0,09 | 192,6 |
| Bélgica | 0,0 | 0,0 | 400,0 | 160,0 | 2.241,6 | 2.801,6 | 0,25 | 560,3 |
| Slovakia | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,0 |
| Bulgaria | 100,0 | 40,0 | 0,0 | 3.054,0 | 0,0 | 3.194,0 | 0,29 | 638,8 |
| Suiza | 1.450,0 | 2.730,0 | 1.365,0 | 3.054,0 | 3.480,0 | 12.079,0 | 1,09 | 2.415,8 |
| México | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 2.520,0 | 0,0 | 2.520,0 | 0,23 | 504,0 |
| Puerto Rico | 0,0 | 0,0 | 152,6 | 0,0 | 228,9 | 381,4 | 0,03 | 76,3 |
| Chile | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 450,0 | 1.350,0 | 1.800,0 | 0,16 | 360,0 |
| Colombia | 42,0 | 21,0 | 21,0 | 0,0 | 20,0 | 104,0 | 0,01 | 20,8 |
| República Dominicana | 0,0 | 2,1 | 2,2 | 0,7 | 0,0 | 5,0 | 0,0005 | 1,01 |
| Panamá | 0,0 | 0,0 | 0,6 | 0,0 | 0,0 | 0,6 | 0,0001 | 0,13 |
| Bahamas | 4.765,5 | 4.138,8 | 4.219,1 | 4.364,1 | 3.675,9 | 21.163,5 | 1,91 | 4.232,7 |
| Total | 266.562,0 | 209.363,7 | 204.511,3 | 216.529,4 | 208.346,3 | 1.105.312,6 | 100 | 221.062,5 |

Fuente: Departamento de Exportaciones LAICA (2022).

1.1.2.3 Retos y oportunidades en materia de sostenibilidad a nivel nacional

Los retos, desafíos y oportunidades que se encuentran en materia de sostenibilidad a nivel nacional son entre otros los siguientes (Chaves 2022f):

- a. Mantener y mejorar la gestión del recurso suelo como ente que brinda múltiples servicios eco-sistémicos; además de nutrir, dar sostén y anclaje al cultivo. Para ello se deben reforzar los programas de combate a la degradación del suelo (Chaves 2017d, 2020klmn) mediante el control de la erosión, la acidificación y la salinización, implementando estrategias dirigidas a restaurar los niveles óptimos de carbono en suelo mediante la aplicación de abonos y enmiendas orgánicas, la práctica de labranza reducida o mínima labranza y el uso de abonos verdes, que aseguren una intensa actividad de micro, meso y macro-organismos benéficos y, con esto, la redistribución y disposición de los nutrientes. Además, se debe implementar la Agricultura 4.0 mediante el Sistema de Agricultura de Precisión, que permitirán dirigir las acciones de manejo de cultivo hacia los puntos que realmente lo requieren, minimizando el impacto y costo de insumos externos al sistema.
- b. Mejorar la capacidad de resiliencia y adaptación del cultivo al cambio climático, para lo cual se requiere intensificar el desarrollo de nuevas variedades de caña de azúcar con resistencia a períodos prolongados de sequía, al ataque de patógenos y plagas, y que además ofrezcan altos niveles productivos en suelos de alta acidez y salinidad (Chaves 2021b). Se requiere también recursos para construcción de infraestructura dirigida a la cosecha y el almacenamiento de agua, y para la habilitación de sistemas de riego eficientes.
- c. Asegurar una alta biodiversidad de organismos que favorezcan procesos naturales de control biológico, los ciclos biogeoquímicos (carbono, nitrógeno, azufre) y el reciclaje de nutrientes, que son indispensables para que el cultivo crezca y se desarrolle expresando su máximo potencial; sin depender del uso intensivo de agroquímicos y de prácticas agrícolas degradantes que puedan impactar el agro-ecosistema productivo.
- d. Reducir las emisiones de GEI provenientes de fertilizantes nitrogenados y de la mecanización de las labores de preparación del terreno, siembra, mantenimiento del cultivo y su cosecha. Para ello se deben de mejorar sustancialmente la eficiencia de los fertilizantes mediante el uso de prácticas agronómicas y de productos de liberación controlada, mediante el uso de abonos verdes y mediante el desarrollo de biofertilizantes a base de microorganismos fijadores de nitrógeno como lo señalara Chaves (2020pr, 2021p, 2022c).
- e. Desarrollar nuevas tecnologías para el aprovechamiento y transformación de la biomasa residual del cultivo que permita obtener productos con mayor valor agregado, y que incluso, puedan devolverse e incorporarse al sistema bajo en concepto de “Economía

Circular o Bioeconomía”; tal es el caso del biocarbón, los abonos orgánicos, las briquetas o el ensilaje para alimentación animal. Además, implementar procesos de biorrefinería para producir sustancias base que a su vez se requieren para la elaboración de una gran variedad de productos alternativos. Algunos productos base con gran demanda son por ejemplo la nanocelulosa, la lignocelulosa y una gran variedad de polímeros base.

1.2. Caracterización socioeconómica de la producción primaria

1.2.1. Organización institucional

La organización se compone de dos sectores claramente definidos como son el agrícola/cañero vinculado con la producción (primaria) de la materia prima en el campo, y el industrial/ingenio responsable de su procesamiento, extracción y fabricación del azúcar en sus diferentes tipos y calidades. Ambos sectores convergen en LAICA, que es un ente público no estatal, dotado de personería jurídica propia, sometida al Derecho Público en cuanto a sus potestades de imperio, y al Derecho Privado en lo atinente a sus actividades de comercialización, como lo estipulan los artículos 4 y 5 de la Ley Orgánica de la Agricultura e Industria de la Caña de Azúcar N° 7818 del 22 de setiembre de 1998 y su Reglamento Ejecutivo Decreto N° 28665 - MAG (LAICA 1998, 2000). La organización asegura que en los órganos de LAICA exista paridad de representación de los dos sectores, garantizando y asegurando el cumplimiento cabal de los postulados que inspiran la legislación azucarera.

LAICA es quién se encarga de la comercialización del azúcar producido en el territorio costarricense, sin perjuicio de que los ingenios también puedan comercializar azúcar por su cuenta. Asimismo, la legislación faculta a la Corporación para comercializar mieles y alcohol. La Ley establece en esta materia que, del valor neto final del azúcar, las mieles y demás productos que LAICA comercializa, al productor agrícola le corresponde el 62,5%, mientras que a los ingenios se les asigna el 37,5% complementario por el procesamiento de la materia prima, extracción y fabricación del azúcar.

Para efectos institucionales la representación de ambos sectores recae actualmente en las seis CPC y los 11 ingenios azucareros activos, representados por FEDECAÑA y la CAZ, respectivamente (Chaves 2015bc).

1.2.2. Institucionalidad y marco regulatorio

Como reflejo de su importancia socioeconómica y reconociendo su decidido aporte a la democratización y adecuado reparto de la riqueza, sobre todo en zonas rurales, desde la década de 1940 la agroindustria de la caña de azúcar en Costa Rica ha estado formalmente organizada (Chaves 2015bc y Chaves y Bermúdez 2020). Lo anterior va referido específicamente a la creación en dicha década mediante Decreto Ejecutivo de la denominada Junta de Protección a la Agricultura de la Caña de Azúcar, indudable antecesor histórico de lo



que hoy en día es la Liga Agrícola Industrial de la Caña de Azúcar, también conocida como **LAICA**.

Se le confirió mayor robustez jurídica al modelo organizativo con la promulgación en noviembre del año 1965 de la Ley No. 3579 denominada *Ley Orgánica de la Agricultura e Industria de la Caña*, la cual crea en su artículo cuarto a la LAICA como una corporación no estatal con personalidad jurídica propia (ente público no estatal), que regula, tutela, resguarda y representa al sector cañero azucarero costarricense dedicado a la siembra e industrialización de la caña de azúcar, detentando facultades de Derecho Público en su ámbito corporativo y de Derecho Privado en su dimensión comercial.

En setiembre de 1998, la Ley No. 3579 fue reformada y reorganizada mediante la *Ley No. 7818*, denominada *Ley Orgánica de la Agricultura e Industria de la Caña de Azúcar*. Ese ordenamiento jurídico mantuvo incólume la creación de LAICA dejando en vigencia el artículo 4 de la Ley No. 3579, pero efectuó una profunda reorganización y modernizó algunos temas como por ejemplo el sistema de pago de la caña por su calidad.

La citada Ley No. 7818 tiene por objetivos y finalidades públicas, según lo dispone su artículo primero, el mantener un régimen equitativo de relaciones entre los productores de caña y los ingenios de azúcar que garantice a cada sector una participación racional y justa; así mismo, ordenar para el desarrollo óptimo y la estabilidad de la agroindustria azucarera costarricense, los factores que intervienen tanto en la producción de la caña, como en la elaboración y comercialización de sus productos. En consecuencia, LAICA debe intervenir en las diferentes facetas de la cadena agroindustrial de la caña de azúcar optimizando los beneficios para el gremio cañero-azucarero nacional.

Es de fundamental relevancia hacer hincapié en que este modelo organizativo solidario dispensa un trato especial y diferenciado a los pequeños y medianos productores de caña, cuya existencia y mantenimiento declara, en el artículo 57 de la Ley No. 7818, como de interés público, lo que resulta de capital importancia. Y es que por ello la Ley No. 7818 les garantiza a los productores de caña nacionales tanto la compra del fruto de su esfuerzo agrícola por parte de los ingenios como un precio justo, el cual, según lo dictamina el artículo 104 de la Ley No 7818, es el 62,5% del valor neto de la liquidación.

Este esquema organizativo del sector cañero azucarero costarricense, modelo en el país y en el

mundo entero, ha demostrado con éxito, como por medio de los principios constitucionales del adecuado reparto de la riqueza y de justicia social (artículos 50 y 74 de la Constitución Política de Costa Rica, respectivamente), principios consagrados de igual forma en el artículo dos de la Ley No. 7818, puede generarse bienestar socioeconómico para miles de costarricenses; así mismo, contribuir decisivamente con la paz social del país.

La representación del sector cañero-azucarero en LAICA según lo dispuesto en el artículo 19 de la Ley No. 7818 está conformada por el órgano superior de dirección y administración que es la Asamblea General; además, cuenta con una Junta Directiva y un Consejo de Comercialización y sus respectivos Directores cada una, con las funciones y atribuciones que dispone dicha Ley. Tanto la Asamblea General como la Junta Directiva están conformadas por igual número de representantes del sector productor y del sector industrial (ingenios azucareros), garantizándose una adecuada representación de ambos gremios en todas las decisiones.

La Asamblea General está conformada por nueve representantes de los productores designados por la organización del sector cañero FEDECAÑA y nueve representantes de los industriales (artículo 20, Ley No. 7818). La Asamblea General es presidida alternativamente durante el periodo de un año calendario por un delegado del sector azucarero y uno del sector cañero, de conformidad con lo establecido en el artículo 21 de la Ley No. 7818.

Por su parte, la Junta Directiva de LAICA está integrada por ocho miembros propietarios, dos de los cuales serán el Ministro de Agricultura y Ganadería (MAG) y el Ministro de Economía, Industria y Comercio (MEIC) y, por tres representantes de los productores de caña, nombrados por FEDECAÑA y tres representantes de los ingenios nombrados por la CAZ, estos tres representantes del sector industrial deberán ser nombrados según los rangos establecidos en la Ley No. 7818, según el siguiente orden: un representante de los ingenios del rango superior, un representante de los ingenios del rango intermedio y un representante de los ingenios del rango inferior respectivamente.

De igual forma, el Consejo de Gobierno y los sectores acá mencionados nombrarán a un suplente por cada propietario. Los miembros de la Junta Directiva podrán ser reelegidos y ejercerán sus cargos por un período de dos años, que se iniciará el 1 de enero y concluye el 31 de diciembre del año que corresponda (artículo 25 de la Ley No. 7818).

En igual sentido, el Consejo de Comercialización lo forman seis miembros designados de la siguiente manera: dos por la organización del sector cañero (FEDECAÑA) y cuatro por los tres rangos de producción (inferior, intermedio y superior) de los ingenios que vendan su azúcar a la Liga de la Caña,



en la siguiente forma: dos por los ingenios que estén en el rango superior de producción de azúcar, uno por los ingenios que estén en el rango intermedio de producción de azúcar y uno por los ingenios que estén en el rango inferior de producción de azúcar.

Para el cumplimiento de los fines descritos el artículo 5 de la Ley N°7818, le confirió a LAICA una doble capacidad jurídica: la de Derecho Público en todo lo atinente al ejercicio de sus facultades y deberes de imperio, y la de Derecho Privado para el ejercicio de las actividades de comercialización; así como para el cumplimiento de las actividades empresariales conexas. Desde la perspectiva del Derecho Privado, LAICA, por mandato expreso de su ley orgánica, Ley No. 7818, tiene la facultad de comercializar, -sin carácter monopolístico-, azúcar, mieles, alcohol y los demás subproductos de la caña de azúcar que se producen en Costa Rica, realizando por sí mismo los procesos industriales de todos sus productos tanto para abastecer el mercado nacional con azúcar entre otros productos básicos, como para exportar al mercado internacional, generando cientos de empleos directos e indirectos en todas las zonas del país.

Como se desprende de lo detallado anteriormente, LAICA representa a los gremios del sector cañero azucarero costarricense y, por su parte, comercializa productos propios, elaborados directamente por ella, para lo cual el legislador ordinario le confirió expresamente a LAICA la potestad de celebrar toda clase de actos y contratos lícitos necesarios para el cumplimiento de sus fines, según se desprende del artículo noveno, inciso m) de la Ley N°7818.

Por último, es necesario acotar que el sector cañero costarricense está formalmente organizado mediante seis Cámaras de PI de caña de azúcar, las cuáles a su vez conforman FEDECAÑA; en tanto que los ingenios se agrupan en la denominada CAZ. Todas estas organizaciones son privadas y se crearon con fundamento en la Ley de Asociaciones N° 218 de agosto de 1939.

1.2.3. Organización productiva

Como se anotó anteriormente la producción primaria de materia prima en el campo la desarrollan de acuerdo con la legislación azucarera vigente, los Productores Independientes (PI), los denominados Productores No Independientes y también los Ingenios en su gestión particular privada. Dispone la legislación que, de la cuota asignada por LAICA a los ingenios, éstos deben completar, como regla general, el 50% de su cuota con caña adquirida de PI. Con ese fin la legislación establece regulaciones y LAICA lleva un control riguroso y minucioso de las entregas que durante la zafra realizan los diferentes participantes.

Con el objeto de organizar la producción y atender las responsabilidades y funciones atinentes a lo establecido en la Ley 7818, LAICA tiene organizada geográficamente las regiones en la forma que se indica en el Cuadro 7, donde existen seis zonas (A, B, C, D, E y F) que dan cobertura territorial a toda la gestión administrativa, financiera, productiva, social y tecnológica asociada.

En dichas zonas se ubican los 11 ingenios azucareros actualmente activos.

Se estima que el área sembrada con caña destinada a la fabricación de azúcar en Costa Rica y no a otros usos, comprende 6 provincias, 29 cantones y aproximadamente 115 distritos distribuidos en todo el territorio nacional, como lo señalan Chaves (2017a, 2019a, 2021a), Chaves y Bermúdez (2020) y Chaves y Chavarría (2021ab). Dicha movilización territorial es muy dinámica y cambiante cuando valorada en el tiempo.

Cuadro 7.

Zonificación productiva de la agroindustria azucarera costarricense.

| Ubicación geográfica | Zona* | Ingenios (11) |
|---|-------|---------------------------------------|
| Provincias de Cartago y Limón | A | Juan Viñas |
| Provincias de Heredia y Alajuela, con excepción de Orotina, San Mateo, San Carlos, Upala, Los Chiles y Guatuso | B | Porvenir Victoria |
| Cantones de San Carlos, Los Chiles, Guatuso y Upala Provincia de Alajuela | C | Cutris Quebrada Azul San Rafael |
| Cantones Puntarenas, Esparza, Montes de Oro de la Provincia de Puntarenas; y los Cantones de Orotina y San Mateo Provincia de Alajuela | D | El Palmar |
| Provincia de Guanacaste | E | CATSA El Viejo Taboga |
| Cantón de Pérez Zeledón Provincia de San José; y Cantón de Buenos Aires Provincia de Puntarenas | F | El General |

*De acuerdo con la Ley N° 7818 de 1998.

Fuente: Departamento Técnico LAICA (2022).

En el Cuadro 8 y la Figura 3 se presenta un detalle mostrando la cantidad de PI que entregaron caña a los ingenios de las regiones productoras durante el periodo 2010-2020, ratificando la importancia social y económica que el cultivo tiene para muchas comunidades rurales y la manutención de muchas familias.

Cuadro 8.

Cantidad y distribución de los Productores independientes según región agrícola. Periodo 2010-2020.

| Región | Zafras | | | | | | | | | | | Promedio | % |
|---------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|------------|
| | 2010-11 | 2011-12 | 2012-13 | 2013-14 | 2014-15 | 2015-16 | 2016-17 | 2017-18 | 2018-19 | 2019-20 | 2020-21 | | |
| Guanacaste | 2.968 | 2.539 | 2.425 | 2.190 | 1.738 | 1.361 | 1.134 | 1.064 | 947 | 733 | 753 | 1.623 | 23,7 |
| Pacífico | 93 | 81 | 77 | 67 | 70 | 60 | 52 | 45 | 36 | 31 | 42 | 59 | 0,86 |
| Central | | | | | | | | | | | | | |
| Valle Central | 1.247 | 1.209 | 1.182 | 1.228 | 1.243 | 1.161 | 1.102 | 1.066 | 1.260 | 1.120 | 807 | 1.148 | 16,7 |
| Zona Norte | 753 | 716 | 903 | 1.008 | 1.099 | 1.099 | 1.024 | 1.025 | 1.047 | 1.039 | 1.111 | 984 | 14,4 |
| Zona Sur | 2.386 | 2.394 | 2.598 | 2.800 | 2.871 | 2.878 | 2.715 | 2.649 | 2.587 | 2.312 | 2.227 | 2.583 | 37,7 |
| Turrialba | 580 | 576 | 572 | 537 | 531 | 515 | 537 | 443 | 313 | 158 | 248 | 455 | 6,6 |
| Total | 8.027 | 7.515 | 7.757 | 7.830 | 7.552 | 7.074 | 6.564 | 6.292 | 6.190 | 5.393 | 5.188 | 6.853 | 100 |

Fuente: Departamento Técnico LAICA (2022).

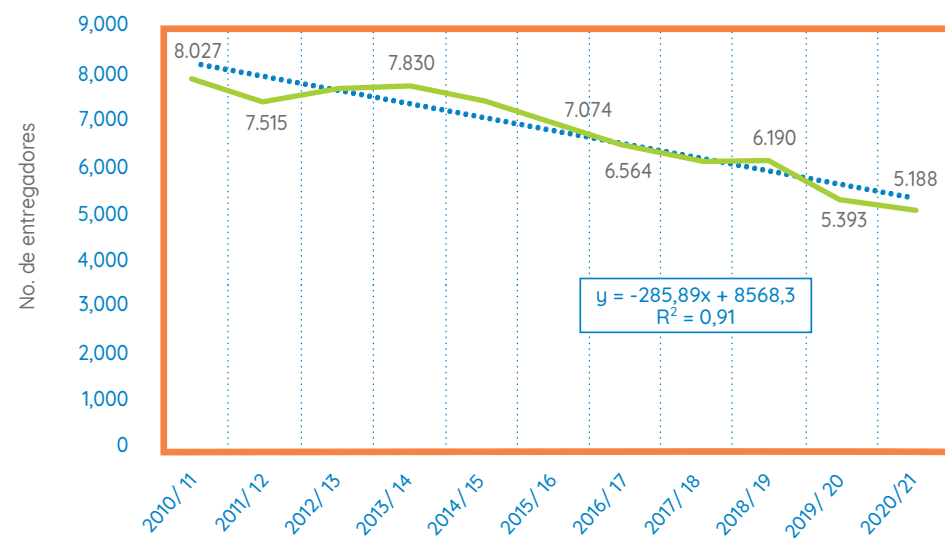


Figura 3.

Cantidad de entregadores de caña en Costa Rica según zafra.

Como se infiere, la Zona Sur y Guanacaste son las regiones donde mayor cantidad de productores-entregadores de caña concurren al representar un 37,7 y 23,7%, respectivamente, lo que representa integralmente un significativo 61,4% para el periodo evaluado. Por su parte, la menor cantidad de entregadores se observa en el Pacífico Central con apenas una significancia de 0,86% y Turrialba con el 6,6%. En la última zafra 2020-21 la representatividad regional se torna aún más polarizada y cambiante, al mostrar la Zona Sur y Norte la mayor cantidad de productores con un 42,9 y 21,4%, respectivamente, para un 64,3% conjunto; manteniendo el Pacífico Central la más baja representatividad con apenas un 0,81%. Es notoria y muy evidente la reducción sistemática y significativa que se viene verificando con el tiempo en la participación de los PI dentro de la organización.

Al desagregar y clasificar las entregas de materia prima por rango como lo demanda la legislación azucarera, se comprueba en el Cuadro 9 para el periodo de 11 zafras 2010-2020, que el rango más bajo correspondiente a entregas de 1 a 250 toneladas métricas de caña propia y particular de unidades productivas pertenecientes a pequeños agricultores es el más representativo con un 83,2% promedio; seguido por el rango que va de 251 a 500 toneladas que representó un 8,4% de todas las entregas de caña realizadas por los PI. De acuerdo con esos valores, el 91,6% de la caña entregada para procesamiento a los ingenios nacionales en esa década, provino de las fincas más pequeñas, lo que tipifica y caracteriza la estructura de tenencia de la tierra propia y particular de los PI. Por el contrario, las unidades productivas mayores, superiores o iguales a entregas de 5.000 toneladas fueron las de menor presencia con apenas un 0,38% del total de entregas, aunque de alto impacto por su mayor dimensión territorial.

Cuadro 9.

Rangos de entrega de caña de Productores independientes. Periodo 2010-2020.

| Rango | Zafras | | | | | | | | | | | Promedio | % |
|----------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|------------|
| | 2010-11 | 2011-12 | 2012-13 | 2013-14 | 2014-15 | 2015-16 | 2016-17 | 2017-18 | 2018-19 | 2019-20 | 2020-21 | | |
| De 1 a 250 | 6.928 | 6.264 | 6.396 | 6.439 | 6.240 | 5.916 | 5.511 | 5.234 | 5.210 | 4.386 | 4.162 | 5.699 | 83,2 |
| De 251 a 500 | 585 | 657 | 721 | 699 | 662 | 563 | 486 | 516 | 469 | 462 | 497 | 574 | 8,4 |
| De 501 a 1000 | 360 | 362 | 395 | 416 | 383 | 338 | 327 | 368 | 338 | 343 | 332 | 360 | 5,2 |
| De 1001 a 1500 | 55 | 98 | 115 | 119 | 128 | 114 | 102 | 69 | 84 | 86 | 81 | 96 | 1,4 |
| De 1501 a 5000 | 83 | 103 | 85 | 116 | 101 | 120 | 111 | 88 | 74 | 103 | 95 | 98 | 1,4 |
| Mayor de 5000 | 16 | 31 | 45 | 41 | 38 | 23 | 27 | 17 | 15 | 13 | 21 | 26 | 0,38 |
| Total | 8.027 | 7.515 | 7.757 | 7.830 | 7.552 | 7.074 | 6.564 | 6.292 | 6.190 | 5.393 | 5.188 | 6.853 | 100 |

Fuente: Departamento Técnico LAICA (2022).

Aplicando a esas mismas estructuras productivas el promedio de productividad nacional del mismo periodo, consignado en el Cuadro 2 del Anexo 1 en 74,3 t/ha, se tiene entonces que el 82,3% de las entregas provenían de fincas menores a 3,4 hectáreas y el 8,4% a fincas con tamaño entre 3,5 y 6,7 ha; razón por la cual, el 91,6% de las entregas correspondieron a plantaciones cuyo tamaño era inferior a 6,7 hectáreas. El 1,8% de toda la materia prima producida y entregada por los PI fue generada en plantaciones con tamaño proyectado entre 20,2 y 67,3 hectáreas correspondientes a rangos de 1.500 y 5.000 toneladas.

La Figura 4 expone lo acontecido en la última zafra 2020-21 donde el 80,2 y el 9,6% de todas las entregas de PI procedían de los dos rangos inferiores para sumar un 89,8% conjunto, ratificando la importancia y trascendencia que tienen los pequeños agricultores para la agroindustria azucarera costarricense.

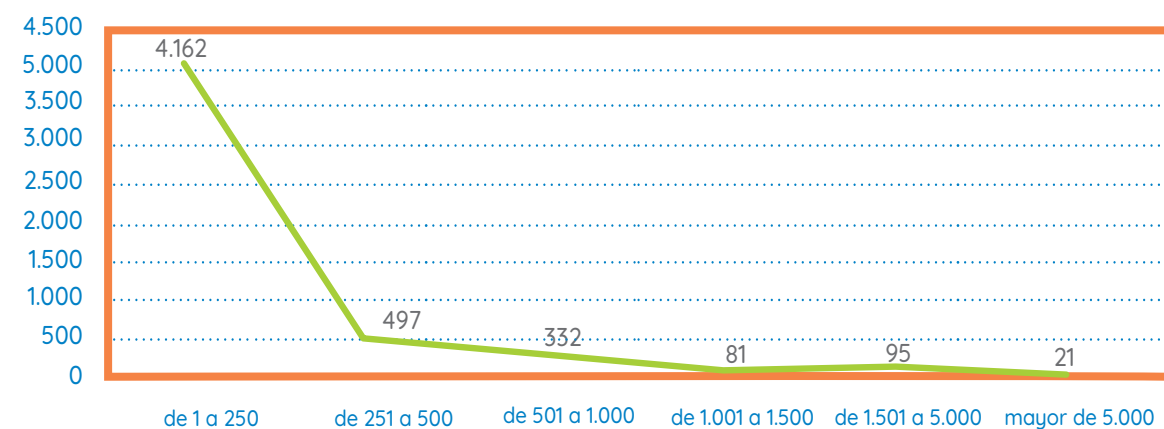


Figura 4.

Cantidad de entregadores según rango. Zafra 2020-2021.

En el Cuadro 10 se contextualiza la estructura de producción primaria de la caña de azúcar en Costa Rica de acuerdo con lo que establece la legislación azucarera vigente, al organizarla en tres grandes segmentos:

- Productores Independientes (entregas \leq a 5.000 toneladas)
- Productores No Independientes (entregas mayores a 5.000 toneladas)
- Caña Propia producida por los ingenios

Es evidente que los ingenios aportan la mayor cantidad de materia prima al representar como promedio de las últimas 11 zafras el 62,9%, seguido por las entregas de los 6.852 PI con el 29,4% y los 26 Productores No independientes reportados en ese tiempo (Cuadro 10).

Con el mismo objeto se presenta la Figura 5 con los datos correspondientes a la zafra 2020-2021 más reciente, evidenciando el crecimiento de la caña producida por los 11 ingenios nacionales.

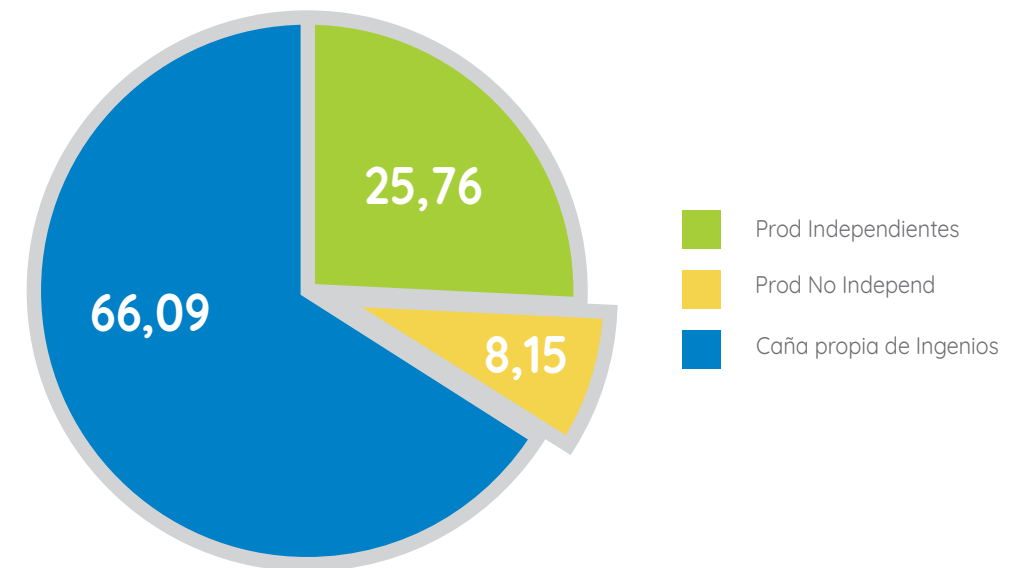


Figura 5.

Origen porcentual de la caña según sector. Zafra 2020-2021.



Cuadro 10.

Distribución de la producción agroindustrial según sector productivo. Periodo 2010-2020.

| Sector productivo | Caña procesada en toneladas métricas según zafra | | | | | | |
|------------------------|--|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| | 2010-11 | 2011-12 | 2012-13 | 2013-14 | 2014-15 | 2015-16 | 2016-17 |
| Independientes | 1.229.300 | 1.299.723 | 1.365.719 | 1.432.747 | 1.335.010 | 1.275.146 | 1.171.269 |
| No Independientes* | 148.257 | 278.035 | 385.826 | 394.619 | 393.032 | 410.826 | 383.535 |
| Caña Propia (Ingenios) | 1.943.039 | 2.245.356 | 2.589.057 | 2.664.757 | 2.694.409 | 2.710.486 | 2.789.086 |
| Total | 3.320.596 | 3.823.114 | 4.340.603 | 4.492.123 | 4.422.451 | 4.396.458 | 4.343.890 |

| Sector productivo | Caña procesada en toneladas métricas según zafra | | | | | |
|------------------------|--|------------------|------------------|------------------|------------------|---------------|
| | 2017-18 | 2018-19 | 2019-20 | 2020-21 | Promedio | % del total |
| Independientes | 1.086.127 | 1.024.785 | 1.079.425 | 1.029.315 | 1.211.688 | 29,42 |
| No Independientes* | 253.891 | 257.273 | 260.160 | 325.601 | 317.369 | 7,70 |
| Caña Propia (Ingenios) | 2.714.123 | 2.743.388 | 2.752.538 | 2.640.105 | 2.589.668 | 62,88 |
| Total | 4.054.141 | 4.025.447 | 4.092.123 | 3.995.020 | 4.118.724 | 100,00 |

Corresponde a entregas mayores a 5.000 toneladas métricas de caña.
Fuente: Departamento Técnico LAICA (2022).

1.2.4. Situación actual del sector cañero azucarero costarricense²

En Costa Rica existen en total 60.668 hectáreas de caña sembradas en la zafra 2020-2021, las cuales están distribuidas en 25 cantones del territorio nacional. Existen asimismo 7.078 productores de caña, de los cuales el 97,7% corresponde a pequeños y medianos productores

²Aporte del Lic. Christian Ocampo Vargas, Director FEDECAÑA 2022.

que no superan la entrega de 1.500 toneladas métricas. Del total de productores, 2.400 son mujeres, lo que representa el 33,9% a nivel país. Por otro lado, hay 11 ingenios azucareros activos de los cuales dos fungen como cooperativas.

Durante la zafra 2020-2021 se produjeron 431.109 toneladas métricas de azúcar. Se estima que el sector cañero-azucarero genera entre 15.000 y 20.000 empleos directos en zonas rurales de todo el país y entre 60.000 y 80.000 empleos indirectos. La actividad representa el 2,3% del PIBA, genera un total de US\$181 millones en exportaciones y más de ₡8.368 millones en contribuciones sociales.

Bajo un modelo solidario, el valor neto del azúcar, las mieles y demás productos que LAICA comercializa, se distribuye en un 62,5% al productor y 37,5% al ingenio.

En cuanto a nómina por zona agroindustrial, que representa la cantidad de productores registrados por LAICA, se distribuye de la siguiente manera:

1. Zona Sur: 2.654 productores en nómina
2. Zona Norte: 1.197 productores en nómina
3. Valle Central: 1.007 productores en nómina
4. Guanacaste: 1.003 productores en nómina
5. Turrialba y Jiménez: 468 productores en nómina
6. Pacífico Central: 35 productores

1.3. Fuentes potenciales de emisión de GEI

La actividad primaria de producción de caña involucra una gran cantidad de actividades y labores de campo vinculadas con la producción, cosecha y transporte de la caña desde la plantación hasta el punto donde será procesada en el ingenio; las cuales tienen efecto directo sobre la emisión de GEI.

Como se anota en el Punto 6.2.4., dichas emisiones basadas fundamentalmente en óxido nitroso (N₂O), dióxido de carbono (CO₂) y metano (CH₄) proceden de diferentes orígenes y se generan en diferente magnitud, entre los que pueden citarse entre otros los que se anotan virtud de su relevancia en el Cuadro 11. Por su magnitud, se estima que el óxido nitroso (N₂O) emitido por los fertilizantes, sean orgánicos o minerales, representa la fuente de mayor significancia, tal como lo comprobaron Montenegro y Chaves (2022).



Cuadro 11.

Fuentes potenciales de emisión de GEI en caña de azúcar.

| Actividad/labor | CO ₂ | N ₂ O | CH ₄ | CO ₂ eq |
|----------------------------------|-----------------|------------------|-----------------|--------------------|
| Preparación de suelos * | X | X | X | X |
| Siembra * | X | | | X |
| Encalamiento de suelos ácidos | X | | | X |
| Fertilización orgánica | | X | X | X |
| Fertilización mineral | | X | | X |
| Riego / drenaje | X | | | X |
| Quema de biomasa | | X | X | X |
| Aplicación de agroquímicos * | X | X | X | X |
| Aplicación de madurantes * | X | X | X | X |
| Cosecha*: Corta | X | X | X | X |
| Cosecha*: Alce | X | X | X | X |
| Transporte*: Semilla | X | X | X | X |
| Transporte*: Materia Prima | X | X | X | X |
| Transporte*: Insumos | X | X | X | X |
| Transporte*: Personal | X | X | X | X |
| Transporte*: Equipo y maquinaria | X | X | X | X |

Nota: * Implican uso de combustibles fósiles.

1.4. Barreras y potencial de reducción de emisiones GEI

Identificadas y conocidas las fuentes potenciales de emisión de GEI y con el objeto de señalar con mucha especificidad las acciones y medidas consideradas prioritarias operar a nivel de fase primaria del cultivo, incluyendo cosecha y transporte de la materia prima hasta la unidad fabril, para lograr su eliminación, reducción y/o mitigación; se definieron 19 acciones puntuales donde es necesario, viable y factible actuar, las cuales se anotan genéricamente en el Cuadro 12.

Adicionalmente y de manera complementaria, se indican de manera específica 88 barreras identificadas como limitantes para implementar esas operaciones y los mecanismos sugeridos y recomendados para procurar su remoción, concebidos en 150 acciones (Cuadro 13).

La identificación y promulgación de dichas propuestas se realizó por medio de varias gestiones sectoriales de carácter grupal como talleres de consulta muy participativos, como fueron:

- Consulta a Productores Independientes y Cámaras de Productores de Caña.
- Consulta a técnicos del sector en diciembre 2021 y enero 2022.
- Análisis de especialistas del Comité Técnico Sectorial.

En el ejercicio desarrollado para formular la Nota Conceptual institucional (Vallejo *et al* 2021), quedaron consignadas algunas de esas medidas, las cuales se indican de manera puntual en el Anexo 2. La priorización de las medidas y acciones allí consignadas se estableció con base en cuatro criterios estratégicos fijados en orden de importancia por su impacto al agricultor, como son:

- Que contribuya con la eficiencia económica, la productividad y la rentabilidad del productor.
- Que reduzca las emisiones de GEI de la actividad.
- Que complemente y fomente las Buenas Prácticas Agrícolas (BPA) en el cultivo.
- Que aporte a la adaptación al cambio climático de la producción de caña de azúcar.



Cuadro 12

Áreas de gestión y acciones técnicas prioritarias para favorecer mitigación de GEI y adaptación al Cambio Climático.

| No. | MEDIDAS |
|------------------------------|--|
| FERTILIZANTES | |
| 1 | Optimizar el uso de los fertilizantes nitrogenados. Considera el empleo de fuentes de liberación lenta y retardada y el mejoramiento de las formulaciones. También el uso de fuentes biológicas. |
| SUELOS | |
| 2 | Uso de enmiendas incorporadas al suelo. |
| 3 | Enfoque en prácticas de conservación que permitan su recarbonización. |
| 4 | Fomento de la mínima labranza o cero labranza en el cultivo. |
| 5 | Implementación de sistemas de "Agricultura de Precisión", para aumentar la eficiencia de las prácticas agronómicas incorporadas. |
| 6 | Incremento en el uso de agentes biológicos, biofertilizantes, inoculación con bacterias y mejoramiento de la biomasa microbiana del suelo. |
| 7 | Uso de Biocarbón (Biochar). |
| 8 | Incremento en el uso de abonos orgánicos |
| 9 | Manejo óptimo del agua de riego |
| 10 | Uso y producción de abonos verdes (Leguminosas). |
| 11 | Optimización en la preparación de los terrenos de cultivo de caña |
| MEJORAMIENTO GENÉTICO | |
| 12 | Desarrollo de variedades más tolerantes, adaptables (resilientes) al clima, el entorno agroproductivo y las plagas |
| 13 | Uso de semilla mejorada de alta calidad y pureza genética para establecer plantaciones comerciales. |
| ENERGÍA | |
| 14 | Reducción en consumo de combustibles fósiles. |
| 15 | Mayor eficiencia en el transporte de la caña |
| PRÁCTICAS AGRONÓMICAS | |
| 16 | Plan de manejo que aumente la longevidad comercial de las plantaciones de caña y que permita renovar cada 6 a 8 años (no cada 4-5 años) con niveles de alta productividad agroindustrial. |
| 17 | Uso de coberturas vegetales a nivel de finca para reducir las malezas y la aplicación de químicos en el cultivo, para hacerla más eficiente y oportuna. |
| 18 | Aumento de la cobertura vegetal con especies arbóreas (frutales o maderables) y arbustos, mediante el establecimiento de franjas o áreas de reserva, bordes, conectividad, rondas de las fincas, corredores biológicos, etc. |
| MANEJO DE RESIDUOS | |
| 19 | Manejo óptimo de biomasa y residuos agroindustriales |

Fuente: Adaptado y ampliado a partir de Vallejo *et al* (2021).

Como se infiere del Anexo 2 las 19 áreas de gestión y acciones técnicas específicas consideradas y calificadas como prioritarias implementar y desarrollar, para favorecer e inducir la mitigación de GEI y la adaptación al CC, se concentraron en los siguientes seis grandes tópicos:

- Fertilización
- Suelos
- Mejoramiento genético
- Energía
- Prácticas agronómicas
- Manejo de residuos agroindustriales

La priorización y posible aplicación de dichas medidas es muy específica y particular para cada uno de los entornos y condiciones agroproductivas particulares donde se cultiva y procesa caña para fabricar azúcar en el país. El Cuadro 13 expone un detalle cuantitativo de lo actuado en esta materia; destacando los 150 mecanismos señalados como instrumentos y medidas orientadas a remover y superar las barreras existentes y favorecer el objetivo de mitigación pretendido. Nótese que las áreas de gestión vinculadas con los suelos y la energía (uso de combustibles fósiles) son las de mayor actividad y oportunidad, como se comprueba en el Anexo 2.

Cuadro 13.

Detalle cuantitativo de las medidas prioritarias de mitigación, barreras y mecanismos para su remoción según áreas de gestión identificadas.

| Áreas de Gestión | Medidas Prioritarias | Barreras | Mecanismos |
|-----------------------|----------------------|-----------|------------|
| Fertilización | 1 | 3 | 4 |
| Suelos | 10 | 45 | 77 |
| Mejoramiento Genético | 2 | 9 | 17 |
| Energía | 2 | 15 | 27 |
| Prácticas Agronómicas | 3 | 13 | 19 |
| Manejo de Residuos | 1 | 3 | 6 |
| Total | 19 | 88 | 150 |

Fuente: : Adaptado de Vallejos *et al* (2021).

1.4.1. Encuesta a productores

Con el objeto de conocer con un alto nivel de representatividad, fidelidad y certeza las Fuentes de Emisión (FE) de gases y su aporte en cantidad durante la labor de producción de caña, se realizó una encuesta dirigida a productores de todo el país con el objeto de recabar los Datos de Actividad (DA). Para ello, se diseñó y formalizó una consulta muy específica y visionaria que se muestra en el Anexo 3, conteniendo indicadores referentes que permitirán generar datos de muy alta calidad para el objeto pretendido.

La consulta fue estructurada y segregada considerando varios factores importantes relacionados con ubicación geográfica; extensión cultivada con caña (hectáreas); área nueva, renovada, en soca y productividad agrícola (t/ha). Para contar con los DA necesarios se consultó sobre indicadores que operan como fuente potencial de emisión, como son entre otros:

- Información general de área sembrada (nueva, renovada, en soca), equipos disponibles, rendimientos agrícolas (t/ha), operación, etc.
- Gasto de combustible por uso de maquinaria y equipos mecánicos en labores de preparación y manejo agronómico de plantaciones comerciales.
- Gasto de combustible por uso equipos mecánicos durante la fase de cosecha y transporte de materia prima al Ingenio.
- Encalamiento y corrección de acidez.
- Fertilización de plantaciones con preferencia hacia el nitrógeno.
- Problemas y limitantes prioritarias que afectan al agricultor en su gestión productiva de campo, solicitando mencionar las tres más importantes.

Se aseguró que la encuesta fuera realizada de manera participativa con el objeto de incrementar representatividad y minimizar sesgo; para lo cual se trabajó en dos vías:

- Asegurar representatividad por ubicación geográfica considerando las seis regiones productoras.
- Asegurar representatividad por rango de entrega (toneladas) de acuerdo con lo que establece la legislación azucarera.

Bajo esa premisa se estableció una conveniente relación de proporcionalidad en la encuesta de campo que involucró y aplicó ambos criterios, en la cual se recomendó muestrear a 124 PI de caña y 11 ingenios azucareros activos para un total de 136 consultas, cuya representatividad sectorial respecto al total se proyectó en un importante 2,4% en proporción al total de entre-

gadores (5.188) registrados en la zafra 2020-2021 y del 100% para el caso de los Ingenios fue del 100% pues se esperaba que todos se consultaran; generando una significancia conjunta del 2,6%. Los criterios selectivos se exponen en el Anexo 4, donde partiendo de lo recabado en la última zafra en cuanto a número de Productores Independientes que entregaron caña, se distribuyó de manera selectiva y representativa las encuestas por realizar.

En el Cuadro 14 se presenta el resultado final de la encuesta realizada por técnicos de DIECA en un gran trabajo de campo a PI e ingenios en el mes de diciembre 2021, la cual superó las 135 consultas originalmente previstas, elevándola a 150, para una representatividad sectorial del 2,9% que resulta muy apropiada en términos estadísticos. Se cumplió así con la expectativa planteada originalmente, resultando las zonas cañeras de Guanacaste y Zona Norte las que mayor cantidad de consultas realizaron, con un 24,7% y 20% del total, respectivamente; seguidas por la Zona Sur con un 19,3%; Turrialba (14,7%); Valle Central (14%) y el Pacífico Central con un 7,3%.

En torno a este acápite puede asegurarse a partir de los resultados obtenidos que la base estimativa de los datos de actividad sobre las cuales se generaron los índices de emisión de GEI es sólida y muy representativa, como se demuestra en la documentación adjunta y debidamente comentada.

Cuadro 14.

Encuestas realizadas según región productora.

| Región / zona | Nº entrevistas | Porcentaje |
|----------------------------|----------------|-------------|
| Guanacaste Zona Este | 20 | 13,3 |
| Guanacaste Zona Oeste | 17 | 11,3 |
| Subtotal Guanacaste | 37 | 24,7 |
| Norte | 30 | 20 |
| Puntarenas | 11 | 7,3 |
| Sur | 29 | 19,3 |
| Turrialba Zona Alta | 4 | 2,7 |
| Turrialba Zona Baja | 18 | 12 |
| Subtotal Turrialba | 22 | 14,7 |
| Valle Central | 21 | 14 |
| Total | 150 | 100 |

1.5. Elaboración de la Línea Base de emisiones de GEI del sector al 2050

Para el diseño de la Línea Base (LB) se procedió sistemáticamente en tres rutas diferentes que convergieron al final en el mismo objetivo; las cuales fueron:

- a. Debió iniciarse una intensa labor de recopilación, organización y análisis de la información regional disponible vinculada con las áreas sembradas (dada en hectáreas) con caña destinada a la fabricación de azúcar y no a otros destinos (dulce, pecuario, cobertura vegetal); la cual hasta la fecha no se tenía dispuesta y ordenada en esa forma. La información generada fue por ello inédita.
- b. Se definieron los años base necesarios para estimar los indicadores de proyección previstos operar. Para ello y por varias razones anotadas en la publicación de Chaves y Chavarría (2021b) y adjunta en el Anexo 5, se decidió iniciar la LB a partir de la Zafra 2010-2011 de una serie de 36 datos (1985-86 a 2020-21), contabilizando por ello las últimas 11 zafras siguientes y hasta la 2020-2021. En su publicación expuesta en el Anexo 6 Chaves (2022a) presenta los datos del periodo considerado en la estimación de la LB con su correspondiente análisis estadístico.
- c. Se coincidió y concordó en que la proyección y estimación de la LB aplicaría hasta el año 2050 y por los próximos 29 años.

1.5.1. Área sembrada con caña

Como se expuso anteriormente el trabajo que debió realizarse con las áreas de siembra cultivadas con caña fue muy grande, pues debieron en primera instancia buscarse y organizarse los datos, ya que la información no se tenía disponible en forma desagregada por región sino solo integrada como país para toda la serie. El periodo de 10 años 2010-11 y hasta 2020-21 se seleccionó por poseer información actual, muy representativa, obtenida por métodos muy confiables, como son los digitalizados, fotografías aéreas y satelitales con verificación y comprobación de campo por medio de GPS.

En el Cuadro 15 y la Figura 6 se presenta la información regional y nacional de áreas sembradas comercialmente con caña de azúcar utilizada como base para realizar la proyección a partir del año 2021 por el término de 29 años y hasta el 2050. Como se infiere de la misma, hay tres segmentos muy bien tipificados regionalmente virtud de las diferencias que mantienen:

- Guanacaste: cuya dimensión territorial se aleja significativamente de las otras cinco, siendo por ello la región que marca pauta.
- Zona Norte (San Carlos y Los Chiles): con una tasa de crecimiento dinámica y significativa. Es la segunda en área sembrada.
- Las otras cuatro regiones (Pacífico Central, Zona Sur, Turrialba y Valle Central): la dimensión de su área es muy similar.

Cuadro 15.

Áreas de siembra (en hectáreas) de caña de azúcar en Costa Rica según región productora. Periodo 2010-2020.

| Zafra | Guanacaste | Pacífico Central | Valle Central | Zona Norte | Turrialba | Zona Sur | Total |
|---------|------------|------------------|---------------|------------|-----------|----------|--------|
| 2010-11 | 30.500 | 5.480 | 4.250 | 7.900 | 4.700 | 4.650 | 57.480 |
| 2011-12 | 31.100 | 5.600 | 4.200 | 7.900 | 4.500 | 4.300 | 57.600 |
| 2012-13 | 34.514 | 5.977 | 4.445 | 8.934 | 4.905 | 4.541 | 63.316 |
| 2013-14 | 34.480 | 5.947 | 4.398 | 8.934 | 4.905 | 4.541 | 63.205 |
| 2014-15 | 35.951 | 5.947 | 4.398 | 8.934 | 4.905 | 4.541 | 64.676 |
| 2015-16 | 39.251 | 5.888 | 4.693 | 6.092 | 5.020 | 4.541 | 65.485 |
| 2016-17 | 35.197 | 5.626 | 4.202 | 9.806 | 4.908 | 4.512 | 64.251 |
| 2017-18 | 33.605 | 5.884 | 4.021 | 8.812 | 4.440 | 3.237 | 60.000 |
| 2018-19 | 34.682 | 5.906 | 3.821 | 9.240 | 4.615 | 4.366 | 62.630 |
| 2019-20 | 34.992 | 5.969 | 3.770 | 9.248 | 4.482 | 4.205 | 62.666 |
| 2020-21 | 33.357 | 5.921 | 3.520 | 9.605 | 4.124 | 4.141 | 60.668 |

Fuente: Extraído de Chaves y Chavarría (2021b).

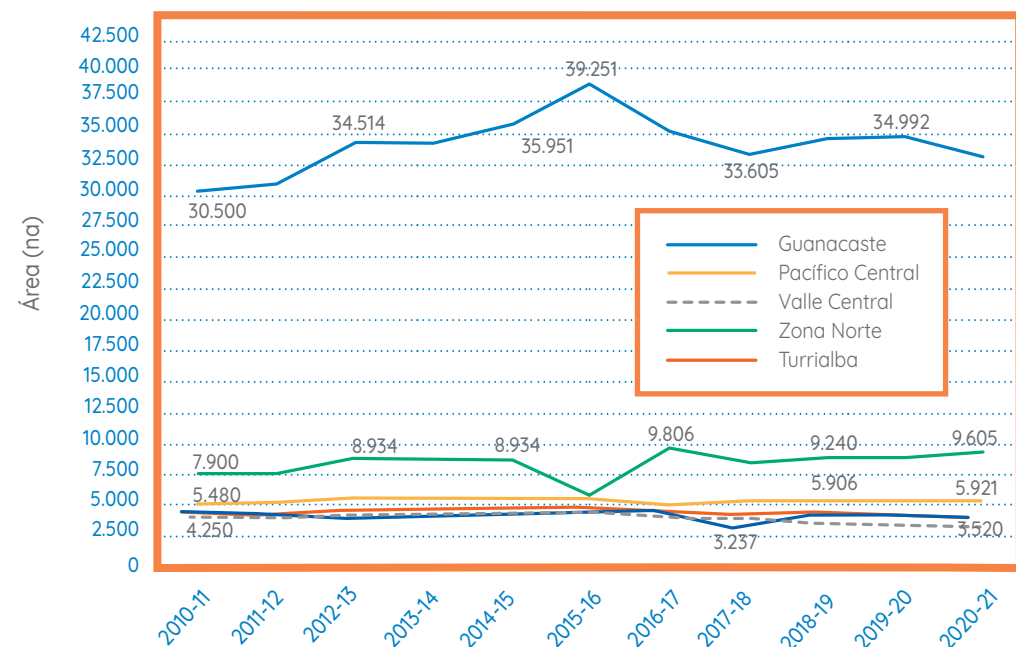


Figura 6.

Áreas cultivadas entre 2010 y 2020.

1.5.2. Proyección de áreas de siembra

Para desarrollar la estimación y proyección del área sembrada hasta el año 2050 de manera consistente, confiable y representativa se emplearon varios criterios válidos y aceptados que ofrecen ventajas y desventajas, los cuales consistieron en:

- Consulta a gerentes de ingenio:** se dirigió en el mes de diciembre una consulta formal a esos funcionarios para que emitieran opinión sobre lo que consideraban podía crecer o decrecer el área de su región; esto basado en experiencia propia y conocimiento sobre el posible desarrollo de proyectos futuros. Se solicitó responder con tasas de crecimiento quinquenal para facilitar la percepción y proyección en el tiempo.
- Método matemático-estadístico:** utilizó la ecuación de regresión de mejor ajuste basada en su coeficiente de determinación (R^2), obtenida a partir de la prueba de seis modelos matemáticos diferentes, como lo señalara Chaves (2022a). También se valoró adicionalmente la media móvil como criterio de estimación.

c. Grupo interdisciplinario de expertos: se conformó un calificado y selecto grupo experto que basado en su experiencia y conocimiento, considerando además la posible presencia, impacto e intervención de varios factores bióticos y abióticos, entre los cuales se consideró y valoró para cada región individualmente los de naturaleza ambiental (clima, legislación), edáfica (fertilidad, relieve), hídrica (cantidad, frecuencia), biológica (variedades), fitosanitaria (plagas, enfermedades), económica (costos, precios, rentabilidad), comercial (mercados, cuotas), de infraestructura, los vinculados con equipo y maquinaria, estructura de tenencia de la tierra, cambio generacional, frontera agrícola, desarrollo urbano, opciones comerciales alternas, proyección de la condición internacional del mercado azucarero, entre otros (Chaves 2022a). En particular, la capacidad de molienda actual y proyecciones de ampliación futura de las unidades fabriles existentes fue muy valorado, pues constituye un techo físico y real a la posibilidad de producir y procesar más caña.

d. Grupo experto de técnicos regionalizados de DIECA: constituido por profesionales regionales ubicados en las localidades productoras, lo que les provee un conocimiento muy profundo de las mismas. Su opinión es por tanto muy calificada, la cual fue realizada bajo consulta dirigida a otras fuentes importantes del lugar. Se solicitó también responder con tasas de crecimiento quinquenal para facilitar la percepción y proyección.

La estimación realizada por el primer criterio (a) fue limitada por las pocas y omisas respuestas recibidas. El criterio matemático (b) no resultó viable de aplicar como indicador de proyección por las bajas tasas de ajuste obtenidas por los 6 modelos de regresión evaluados, lo cual, pese a que se mejoró eliminando del análisis en los casos particulares de Guanacaste, Zona Norte y Sur una de las zafras (la de mayor distorsión), no generó tampoco una proyección confiable. Su empleo sirvió apenas para explicar la tendencia de la serie base de datos (2010-2020). El método experto (d) fue muy apropiado y acertado al analizar con detalle y profundidad cada región cañera. El criterio experto regional (c) fue de igual manera muy valioso al estar ajustado a elementos propios del lugar, interpretados por quienes están ligados directamente con la actividad productiva del lugar.

Como se infiere, el análisis de estimación y proyección de áreas de cultivo fue muy dinámico y exhaustivo empleando diferentes criterios que permitieron alcanzar un resultado muy satisfactorio, como se explicará seguidamente.

1.5.3. Definición área de Línea Base 2021-2050

Luego de tomar, aplicar y combinar lo mejor de los cuatro criterios indicados en el Punto 1.5.2., se logró tener una resultante muy interesante, donde los criterios c) y d) fueron bastante coincidentes con las obvias y esperadas diferencias; con lo cual, mediante una sesión de

trabajo y análisis de los dos grupos de expertos, se logró conciliar y coincidir en lo que se anota en el Anexo 7, donde se exponen individualmente las curvas de área estimada y proyectada en hectáreas para cada una de las seis regiones cañeras y su integración nacional hasta el año 2050. El Cuadro 16 indica de manera resumida algunos valores del área medida por región agrícola correspondientes al periodo anterior al año 2020; así como también otros valores que fueron estimados a partir de la proyección realizada por las curvas de mejor ajuste indicadas en el Anexo 7.

Cuadro 16.

Área sembrada y proyectada (ha) según año y región productora.

| Región/Año | Medida | | | | | Proyectada | | | |
|------------------|--------|--------|--------|--------|--------|------------|--------|--------|--------|
| | 2010 | 2013 | 2015 | 2018 | 2020 | 2023 | 2025 | 2028 | 2030 |
| Guanacaste | 30.500 | 34.480 | 39.251 | 34.682 | 33.357 | 33.767 | 34.186 | 35.169 | 35.839 |
| Pacífico Central | 5.480 | 5.947 | 5.888 | 5.906 | 5.921 | 5.965 | 6.011 | 5.975 | 5.951 |
| Valle Central | 4.250 | 4.398 | 4.693 | 3.821 | 3.520 | 3.421 | 3.324 | 3.162 | 3.059 |
| Zona Norte | 7.900 | 8.934 | 6.092 | 9.240 | 9.605 | 10.048 | 10.512 | 10.947 | 11.249 |
| Turrialba | 4.700 | 4.905 | 5.020 | 4.615 | 4.124 | 4.136 | 4.150 | 4.097 | 4.062 |
| Zona Sur | 4.650 | 4.541 | 4.541 | 4.366 | 4.141 | 4.204 | 4.269 | 4.379 | 4.454 |
| Costa Rica | 57.480 | 63.205 | 65.485 | 62.630 | 60.668 | 61.540 | 62.453 | 63.728 | 64.614 |

| Región/Año | Proyectada | | | | | | | |
|------------------|------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | 2033 | 2035 | 2038 | 2040 | 2043 | 2045 | 2048 | 2050 |
| Guanacaste | 36.455 | 36.871 | 37.470 | 37.779 | 37.629 | 37.534 | 37.532 | 37.641 |
| Pacífico Central | 5.921 | 5.901 | 5.901 | 5.901 | 5.901 | 5.901 | 5.901 | 5.901 |
| Valle Central | 2.938 | 2.860 | 2.680 | 2.567 | 2.271 | 2.093 | 2.093 | 2.093 |
| Zona Norte | 11.388 | 11.483 | 11.574 | 11.635 | 11.791 | 11.897 | 11.919 | 11.933 |
| Turrialba | 4.005 | 3.968 | 3.914 | 3.878 | 3.822 | 3.785 | 3.732 | 3.697 |
| Zona Sur | 4.499 | 4.530 | 4.530 | 4.530 | 4.545 | 4.555 | 4.555 | 4.555 |
| Costa Rica | 65.206 | 65.613 | 66.069 | 66.291 | 65.958 | 65.764 | 65.731 | 65.820 |

Se concluye a partir de los resultados estimados y mostrados que en las regiones de Turrialba y el Valle Central pareciera que esperar aumento del área cultivada se visualiza con mucha reserva y la tendencia es por el contrario hacia la reducción sistemática con el tiempo; mientras que en Guanacaste y la Zona Norte se esperan incrementos importantes de área. La Zona Sur ofrece un leve aumento y el Pacífico Central aparenta y presume estabilidad.

En el Cuadro 17 se anotan con efecto comparativo las áreas de partida por región productora, reportadas en la zafra 2020-21 y la final estimada y proyectada luego de 29 años hasta finalizar en el año 2050. De acuerdo con esos datos los porcentajes de incremento o reducción son variables y en algunos casos muy significativos pues alcanzan desde un -40,5% (Valle Central) y hasta un +24,2% (Zona Norte). Para el caso nacional se estima un incremento del 9,3% correspondiente a 5.658 hectáreas nuevas presumiblemente en los 29 años futuros por transcurrir.

Cuadro 17.

Comparativo de tendencia de área sembrada y proyectada según área y región productora.

| Región / Año | 2020 | 2050 | Diferencia | Tendencia | % |
|------------------|--------|--------|------------|-----------|--------|
| Guanacaste | 33.357 | 37.641 | 4.284 | Aumenta | 12,84 |
| Pacífico Central | 5.921 | 5.901 | -20 | Mantiene | -0,34 |
| Valle Central | 3.520 | 2.093 | -1.427 | Disminuye | -40,54 |
| Zona Norte | 9.605 | 11.933 | 2.328 | Aumenta | 24,24 |
| Turrialba | 4.124 | 3.697 | -427 | Disminuye | -10,35 |
| Zona Sur | 4.141 | 4.555 | 414 | Aumenta | 10,00 |
| Costa Rica | 60.668 | 66.326 | 5.658 | Aumenta | 9,33 |

1.6. Organización y estimación datos de actividad

A partir del resultado obtenido con la encuesta realizada, Punto 1.4.1. y expuesta con detalle en el Anexo 3, se procedió a realizar la organización, revisión y depuración por zona productora de caña de los DA buscando su máxima representatividad para ser empleados en la estimación posterior correspondiente.

Una vez procesada, analizada, comentada y ajustada toda la información generada, expuesta en el Anexo 8, cuando resultó válido, procedente y pertinente; se procedió, utilizando los FE aprobados y recomendados por el IMN (2021), a estimar la emisión parcial y particular por

actividad identificada, región agrícola y total para toda el área cañera del país. Cada uno de los factores de emisión medidos fue expresado como unidades de dióxido de carbono equivalente (CO₂eq). La sumatoria de las distintas fuentes generó el índice nacional de emisión total de GEI.

Es muy importante señalar en torno a este punto con absoluta transparencia, que el grupo técnico se encuentra inmerso en una fase permanente y muy importante de revisión, validación y ajuste de los FE recabados por la consulta hecha a ingenios y PI; corroborando con las fuentes correspondientes la validez de sus valores, sobre todo donde hay duda. Por esta razón entendible y justificable, cabe la posibilidad de que algunos de esos estimadores puedan a futuro cambiar en su valor nominal, particularmente en algunas regiones productoras muy heterogéneas, lo que sugiere su revisión permanente. Se busca en lo básico y fundamental lograr maximizar la representatividad y precisión de la información utilizada en los cálculos.

En el Anexo 8 se presentan los DA individuales por indicador de actividad.

1.7. Emisión de GEI

Con el objeto de identificar y cuantificar el total de GEI emitidos según fuente por parte del sector primario de la agroindustria cañera azucarera nacional, se presenta seguidamente el resultado de las estimaciones realizadas para el inventario nacional según fuente para las plantaciones comerciales de caña de azúcar.

A partir del área proyectada 2021-2050 y contando con los valores correspondientes y representativos de las fuentes potenciales de emisión de GEI indicados en el Punto 1.4.1, se procedió a realizar las estimaciones correspondientes y específicas de emisión parcial y total para cada una de las regiones productoras.

1.7.1. Inventario nacional de GEI por fuente

Se efectuó la estimación general de GEI emitidos por el sector primario en las cuatro fuentes principales de emisión identificadas, como son:

- Fertilizantes nitrogenados
- Combustibles fósiles
- Quema de plantaciones para cosecha
- Aplicación de enmiendas

En el Cuadro 18 se presenta un detalle de las estimaciones individuales por fuente de emisión proyectada para cuatro periodos de tiempo diferentes: 2020-21, 2029-30, 2039-40 y 2049-50,

respectivamente. Se evidencia un incremento de las emisiones en el tiempo, provocada por el aumento variable observado en el área sembrada (hectáreas) con caña y la consecuente atención de plantaciones implicada.

Cuadro 18.

Emisión GEI (Gg CO₂eq) según fuente

| Fuente de Emisión | Periodo | | | |
|--------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| | 2020-21 | 2029-30 | 2039-40 | 2049-50 |
| Fertilizante nitrogenado | 74,8 | 77,5 | 80,0 | 79,5 |
| Combustibles fósiles | 21,5 | 22,3 | 23,2 | 23,1 |
| Quema | 18,6 | 19,4 | 20,1 | 20,0 |
| Enmiendas | 2,5 | 2,4 | 2,3 | 2,1 |
| Total | 117,5 | 121,7 | 125,6 | 124,8 |

La Figura 7 presenta por fuente de emisión de gases la evolución de las emisiones proyectadas a partir del periodo 2021-22 y hasta el 2049-50, mostradas en el cuadro anterior y expresadas en Gg dióxido de carbono equivalente. Para efectos de interpretación correcta, es necesario tener presente que por la magnitud de las emisiones de la fuente nitrogenada (N), así como el total para el país, se debe utilizar la escala ubicada a la derecha de la gráfica; en tanto que las otras dos actividades (combustibles y enmiendas) debido a la menor emisión se utiliza para interpretación la escala de la izquierda.



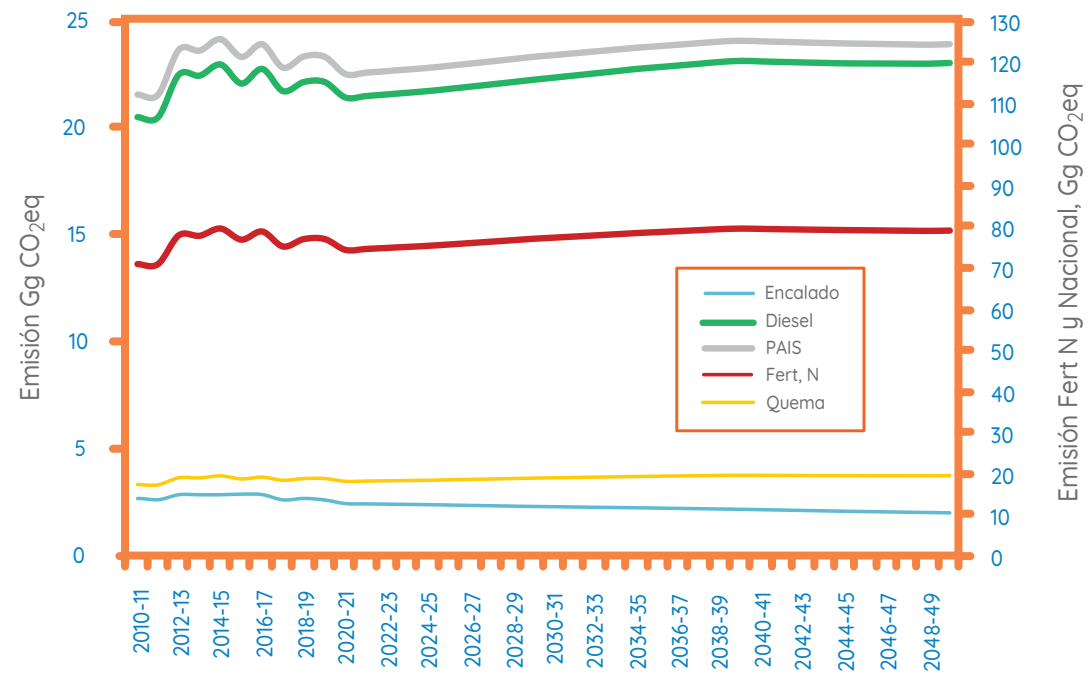


Figura 7.

Emisión de GEI (Gg CO₂eq) según fuente

Con el objeto de tener una visión referida a la proporcionalidad de participación de dichas fuentes, se presentan el Cuadro 19 y la Figura 8 con la misma información, expresada en este caso en porcentaje; evidenciando que el mayor emisor es el fertilizante nitrogenado, seguido por los combustibles fósiles, la quema de plantaciones y la aplicación de enmiendas, respectivamente.

Cuadro 19.

Emisión GEI en porcentaje según fuente.

| Fuente de Emisión | Periodo | | | |
|--------------------------|---------|---------|---------|---------|
| | 2020-21 | 2029-30 | 2039-40 | 2049-50 |
| Fertilizante nitrogenado | 63,7 | 63,7 | 63,7 | 63,7 |
| Combustibles fósiles | 18,3 | 18,4 | 18,5 | 18,5 |
| Quema | 15,9 | 16,0 | 16,0 | 16,1 |
| Enmiendas | 2,2 | 2,0 | 1,8 | 1,7 |
| Total | 100 | 100 | 100 | 100 |

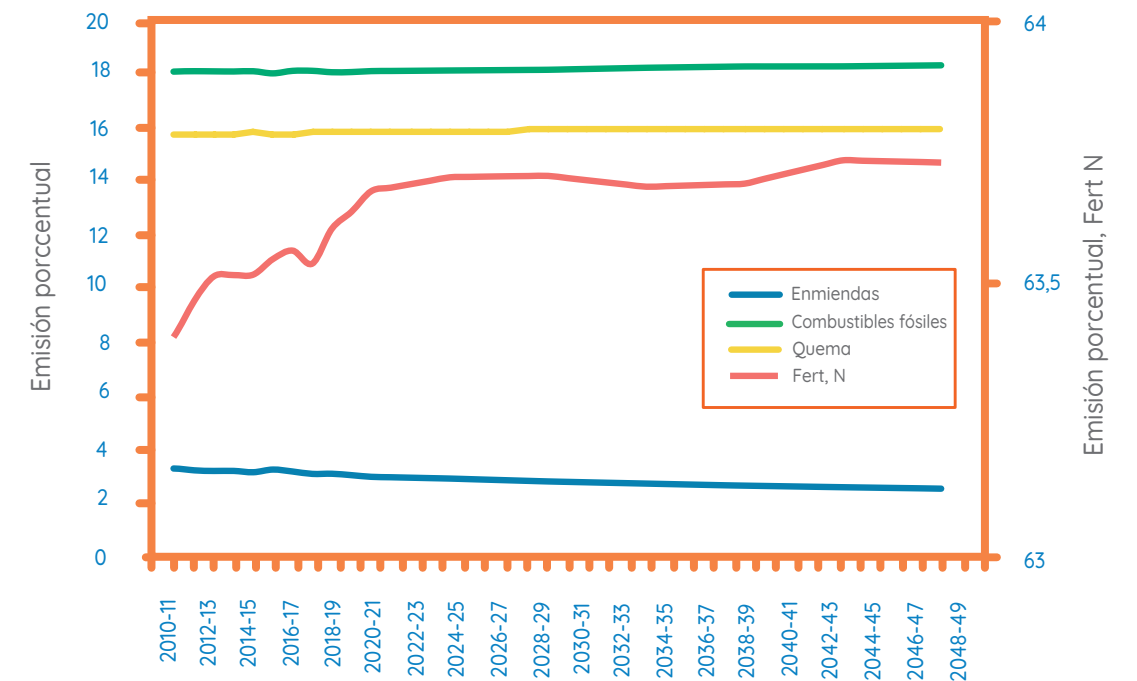


Figura 8.

Emisión de GEI en porcentaje, según fuente

Nota: La línea roja correspondiente a fertilizantes nitrogenados se debe leer utilizando la escala de la derecha. Las líneas correspondientes a Combustibles fósiles, Quemadas de biomasa y Enmiendas se deben leer con la escala de la izquierda.

Aplicada la estimación de gases al periodo de zafra 2020-21 se infiere de la Figura 9 que la participación por fuente fue proporcionalmente del 63,7% por parte de los fertilizantes nitrogenados; 18,3% por el uso de los combustibles fósiles representados en este caso por el diésel; 15,9% por la quema de biomasa practicada para cosechar las plantaciones y apenas un 2,2% por la aplicación de enmiendas representada en este caso por los correctivos de acidez del suelo. Dicho resultado se aproxima mucho a lo encontrado por Montenegro y Chaves (2022), quienes reportaron para los mismos indicadores valores de 73,6%, 11,6%, 13,2% y 1,6%, respectivamente. Queda evidenciado que, al aplicar una valoración más detallada y fina, los combustibles fósiles pasan a ocupar el segundo lugar como fuente de emisión, desplazando a la quema de material vegetal.

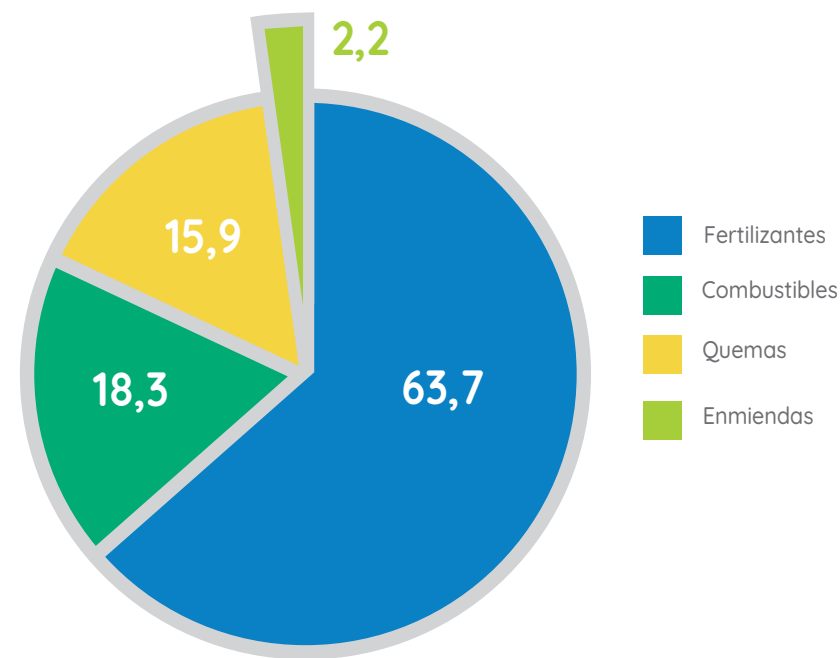


Figura 9.

Porcentaje de emisión de GEI según fuente. Periodo 2020-21.

Se estima que el sector cañero visto integralmente como país emitió aproximadamente 117,5 Gg de dióxido de carbono equivalente durante el periodo de zafra 2020-21, y se estima que llegará posiblemente a generar cerca de 124,8 Gg en el año 2050, como se muestra y proyecta en el Cuadro 20. La razón de ese aumento es debido, como se indicó anteriormente, al posible incremento del área sembrada con caña de azúcar y consecuente aumento en el uso de fertilizantes nitrogenados, aumento en el gasto de combustibles y aplicación de enmiendas correctivas al suelo.

Obviamente los supuestos empleados en las proyecciones pueden cambiar radicalmente durante un periodo tan prolongado de tiempo (29 años) como el aplicado en estas estimaciones. Una reducción en el área de cultivo proyectada provocaría por el contrario una consecuente reducción en las emisiones previstas ocurran. Asimismo, algún evento internacional (guerra, incremento desproporcionado de precios de insumos, bienes y servicios, etc.) que provoque indisponibilidad en la adquisición de fertilizantes o combustibles puede inducir un efecto similar.

Cuadro 20.

Proyección nacional de emisiones de GEI según periodo.

| Periodo | Gg CO ₂ eq | % |
|---------|-----------------------|-------|
| 2020-21 | 117,5 | -- |
| 2029-30 | 121,7 | + 3,4 |
| 2039-40 | 125,6 | + 6,7 |
| 2049-50 | 124,8 | + 5,9 |

1 Gg CO₂ eq = 1.000 toneladas de CO₂eq

1.8. Escenarios nacionales de mitigación

Seguidamente se presenta un detalle con los escenarios de mitigación GEI formulados y planteados por parte del sector azucarero, considerando las actividades y fuentes de emisión evaluados de acuerdo con la tasa de crecimiento estimada para el área territorial sembrada con caña de azúcar, proyectada para el periodo de 29 años transcurrido entre 2021 y el 2050.

Para efectos comprensivos se consideró conveniente definir tres escenarios sobre los cuales se desarrolló el trabajo de proyección y mitigación de las emisiones GEI, los cuales se definen como sigue:

- Optimista:** procura alcanzar una reducción significativa en las emisiones de GEI sobre el estado actual que presentan las fuentes de emisión (nitrógeno, combustibles, enmiendas), sin afectar negativamente y sin excluir la posibilidad de incrementar la productividad.
- Conservador:** disminuye en algún grado las emisiones, puede afectarse positivamente o no percibirse beneficios en la productividad.
- Intermedio:** estado intermedio (no promedio) entre los escenarios 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.

1.8.1. Medidas de mitigación

Las acciones estratégicas previstas a desarrollar de manera muy específica y particular en cada región, entorno y condición productora de caña de azúcar, orientadas a reducir y mitigar las emisiones de GEI, serán indicadas y desarrolladas en otro capítulo futuro. Las mismas se concentran básicamente en revisar y actuar en 19 prácticas consideradas trascendentes vinculadas directamente con tópicos como los siguientes:

1. Optimizar el uso y manejo de los fertilizantes nitrogenados
2. Incrementar el empleo de abonos orgánicos
3. Promover el uso y producción de abonos verdes
4. Incrementar la utilización de agentes biológicos, biofertilizantes, inoculación con bacterias y mejoramiento de la biomasa microbiana del suelo
5. Promocionar y optimizar la incorporación de enmiendas al suelo
6. Enfoque, promoción y atención en prácticas de conservación de suelos que permitan su recarbonización y minimicen las pérdidas naturales
7. Promocionar el uso y la incorporación de biocarbón (*biochar*) al suelo
8. Optimizar la preparación de los terrenos de cultivo
9. Fomento de la mínima labranza y/o cero labranzas en condiciones de cultivo apropiadas
10. Implementar sistemas vinculados con la "Agricultura de Precisión" que aumenten la eficiencia de las prácticas agronómicas incorporadas
11. Utilizar de variedades de caña resilientes apropiadas a los entornos agroproductivos nacionales
12. Uso de semilla mejorada de alta calidad y pureza genética
13. Prolongación de la longevidad en el uso comercial de las plantaciones de caña
14. Auspiciar un manejo óptimo del recurso hídrico
15. Uso de coberturas vegetales a nivel de finca
16. Aumento de la cobertura vegetal con especies arbóreas, frutícolas y arbustivas
17. Controlar, adecuar y reducir el consumo de combustibles fósiles
18. Incrementar la eficiencia en el transporte de la caña
19. Manejo óptimo de biomasa y residuos agroindustriales en el campo

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. Climáticos
- c. Edáficos (físicoquímica del suelo, microbiológicos)
- d. Hídricos (riego, drenaje)
- e. Nutricionales (enmiendas, fertilización)
- f. Genéticos (variedades)
- g. Agronómicos y manejo de plantaciones (prácticas, labores)
- h. Energéticos (cosecha y transporte de materia prima, insumos y otros)
- i. Manejo de residuos agroindustriales en el campo

Partiendo de esos principios fundamentales se presenta en la Figura 10 un detalle de los tres escenarios propuestos, en este caso de manera integral para todo el país; los cuales como se infiere, marcan una diferencia de magnitud variable virtud de los cambios acontecidos, pero de tendencia muy similar en el tiempo para cada una de las tres propuestas de gestión accionadas.

Nótese que la opción Optimista es en definitiva el escenario más exigente y que más gases reduce, seguida por la opción Intermedia; la Conservadora que representa la propuesta de mitigación más moderada y de menor impacto sobre los GEI.

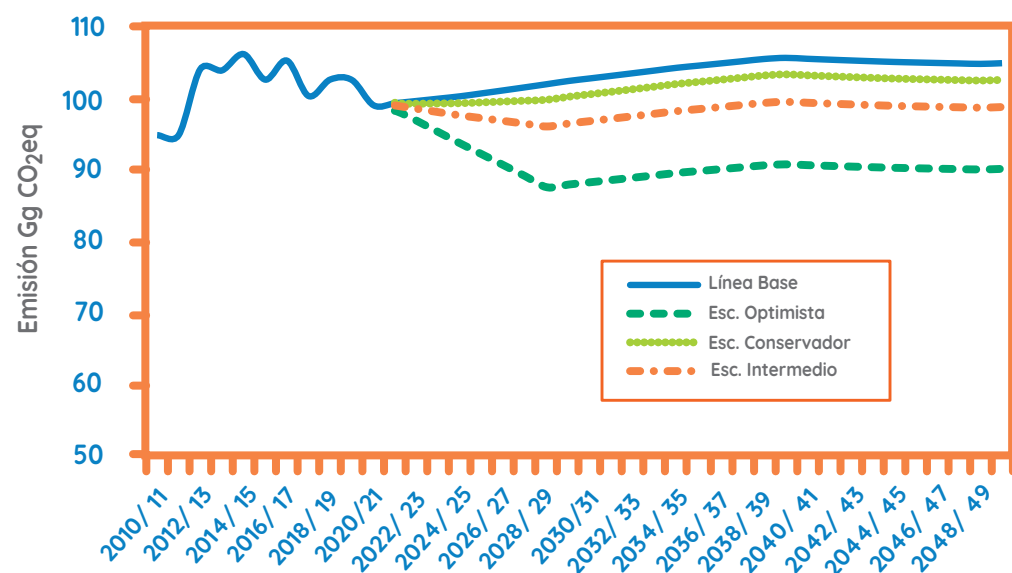


Figura 10.

Emisión GEI (Gg CO₂eq) según escenario de mitigación Nacional.

Al aplicar la estrategia reductora y de optimización a las tres fuentes que se trabajarán y que inducen la emisión de gases en la producción de caña de azúcar, se ratifica en la Figura 11 el impacto provocado por el óxido nitroso (N₂O) generado por el nitrógeno, además del metano (CH₄) y óxido nitroso (N₂O) de las enmiendas. Es evidente en la gráfica notar tres efectos importantes a considerar y comentar:

- En el manejo del nitrógeno, los tres escenarios ejecutan una serie de prácticas de campo orientadas a tornar más eficientes las aplicaciones del nutrimento buscando su optimización y funcionalidad en el suelo y la planta, limitando con ello las pérdidas y mitigando la emisión de gases en grado variable de acuerdo con los tiempos previstos y proyectados. La estrategia se orienta en los tres escenarios a optimizar la eficiencia de utilización del nitrógeno aplicado al suelo.
- En el caso de las enmiendas correctoras de la acidez del suelo, acontece algo realmente paradójico, pues en lugar de reducir la cantidad de materiales encalantes (CaCO₃ y Dolomita) incorporados al suelo y, con ello, la emisión de gases; más bien ésta se aumenta en algunos casos incrementando consecuentemente los GEI en vez de reducirlos.

El motivo y razón de esa acción se enmarca en el principio técnico de mejorar y adecuar la condición fisicoquímica del suelo con relación a la acidez y la condición catiónica en cuanto a sus bases cambiables (Ca, Mg, K) y relaciones iónicas. Esto tendría indudablemente un efecto positivo en la producción (Chaves 1993, 1999a, 2017abc, 2002, 2019ai).

- Por la naturaleza y condición fisicoquímica particular de sus suelos (baja acidez intercambiable y alta Capacidad de Intercambio Catiónico-CIC), las regiones de Guanacaste y el Pacífico Central no incluyen ni consideran la incorporación de enmiendas y empleo de cal en los escenarios propuestos a implementar, motivo por el cual solo involucran el manejo del nitrógeno y los combustibles fósiles.

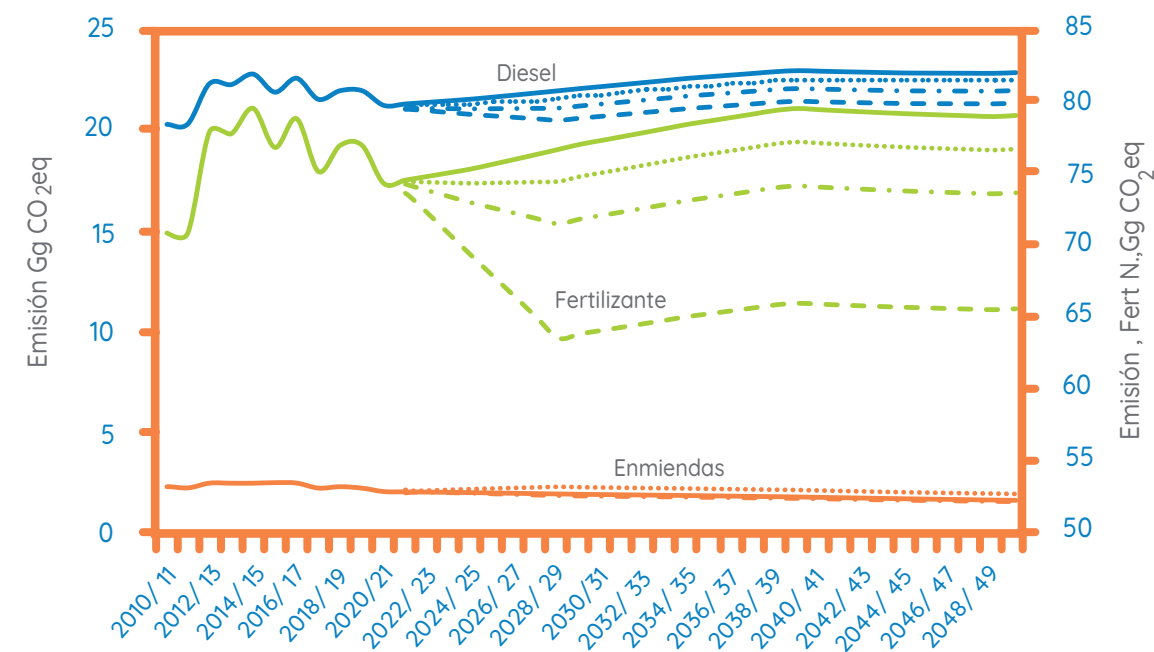


Figura 11.

Consolidado Nacional de mitigación según fuente y en Gg CO₂eq.

Resulta oportuno puntualizar en este acápite la meta vinculada con la mitigación de GEI, que se pretende alcanzar con la implementación y desarrollo de la NAMA Caña de azúcar; cual es en



este caso, favorecer un incremento sostenido de la productividad agrícola e industrial de las plantaciones comerciales, manifestado en la producción de más materia prima industrializable (toneladas métricas de caña por hectárea), con mayor contenido y concentración de sacarosa (kilogramos de azúcar por tonelada de caña) recuperable en sus tallos. Ese principio productivo resulta esencial de tenerlo concebido y previsto alcanzar en la estrategia ambiental implementada con la NAMA, pues lograría incorporar adicionalmente menores costos asociados, mayor rentabilidad y con ello mayor competitividad a la empresa cañera. Esto a su vez tendría un efecto positivo en la cantidad de GEI emitidos por tonelada producida.

1.8.2. Escenarios de mitigación según fuente y región agrícola

Con el objeto de contar con información detallada de los tres escenarios propuestos a implementar en las seis regiones agrícolas productoras de caña del país, se presenta por su importancia y representatividad en las seis figuras adjuntas y expuestas seguidamente, la propuesta operativa individual prevista desarrollar en las mismas con meta hasta la zafra 2049-2050. En los Anexos 9 y 10 se anotan algunos de los indicadores básicos empleados en la determinación de los escenarios expuestos según región productora. Como se anotó atrás, en cada región se propone desarrollar planes, programas y acciones estratégicas de carácter técnico muy específico de acuerdo con las características y potencial intrínseco de las mismas. La información se muestra independiente según: región cañera, fuente de emisión de GEI y escenario propuesto desarrollar.

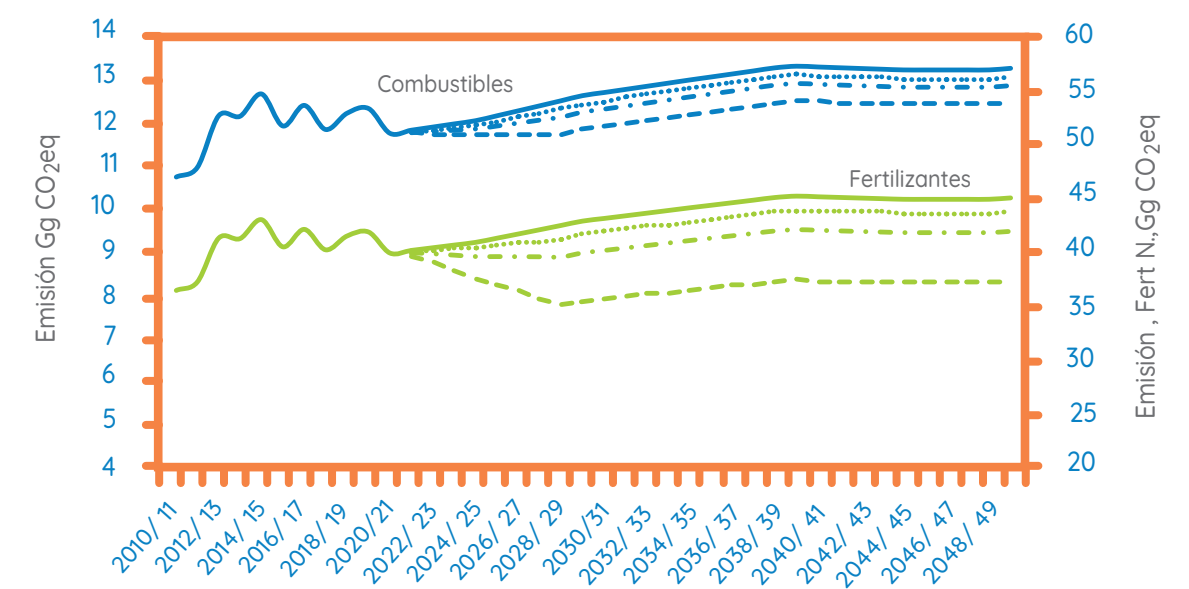


Figura 12.

Escenarios de mitigación, Gg CO₂eq: Guanacaste.

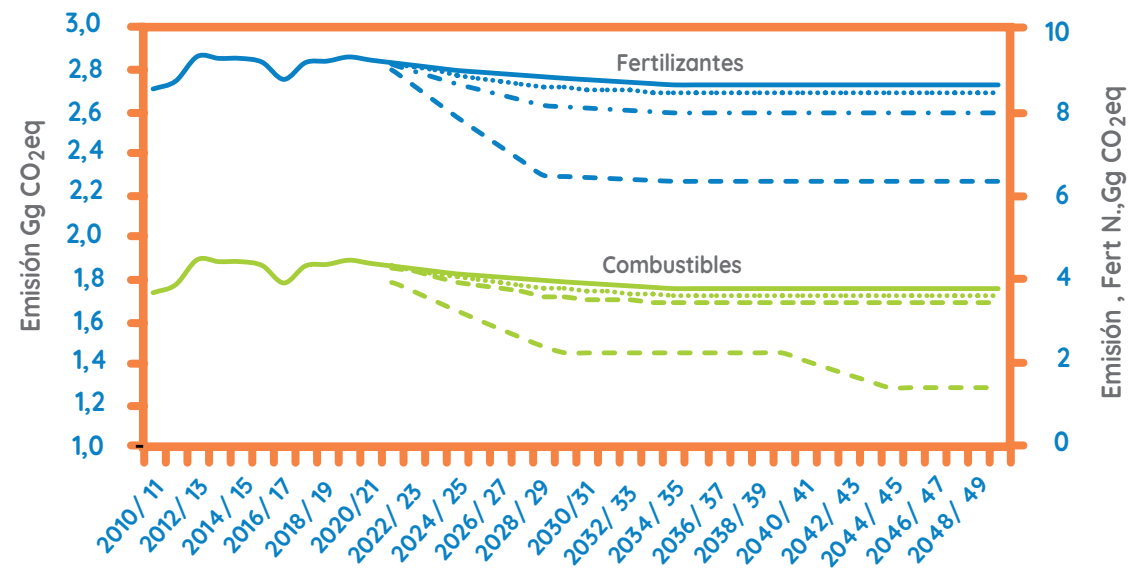


Figura 13.

Escenarios de mitigación, Gg CO₂eq: Pacífico Central.

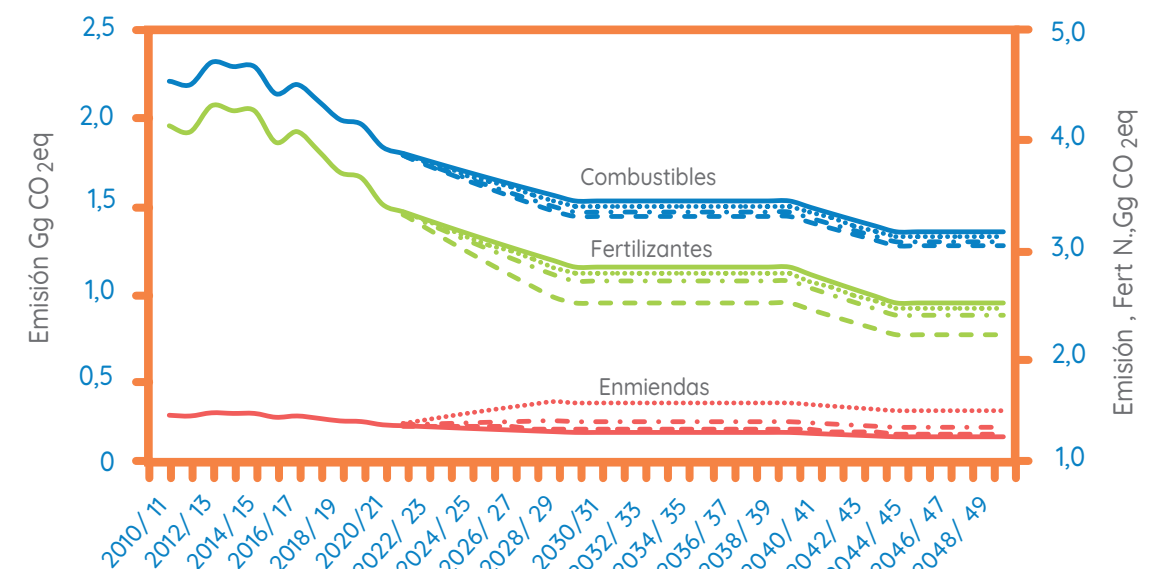


Figura 15.

Escenarios de mitigación, Gg CO₂eq: Valle Central.

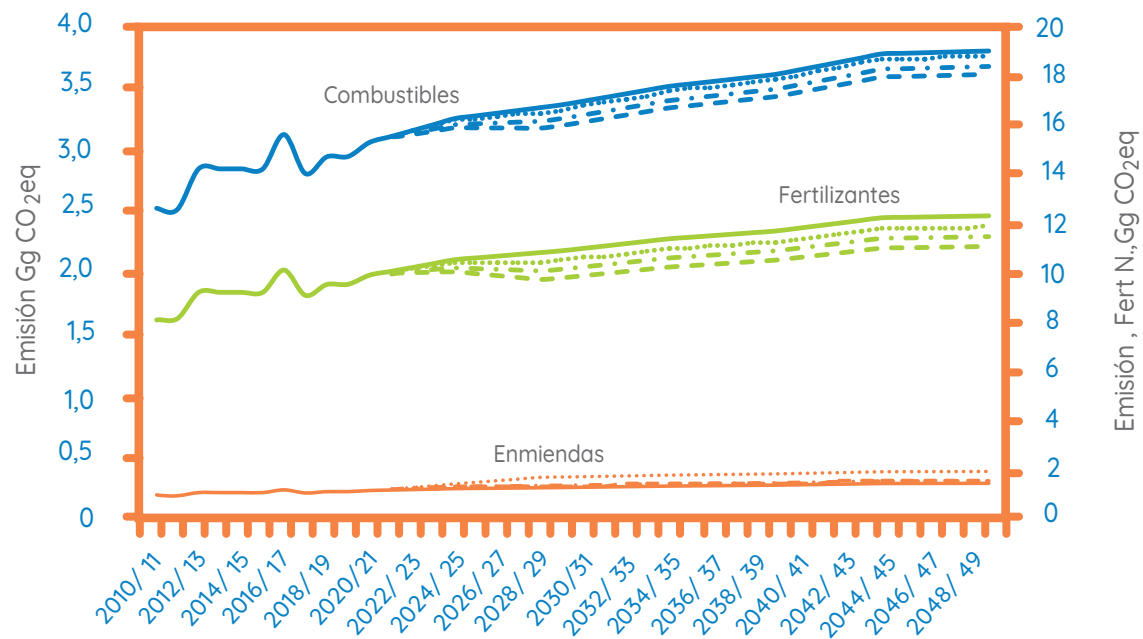


Figura 14.

Escenarios de mitigación, Gg CO₂eq: Zona Norte.

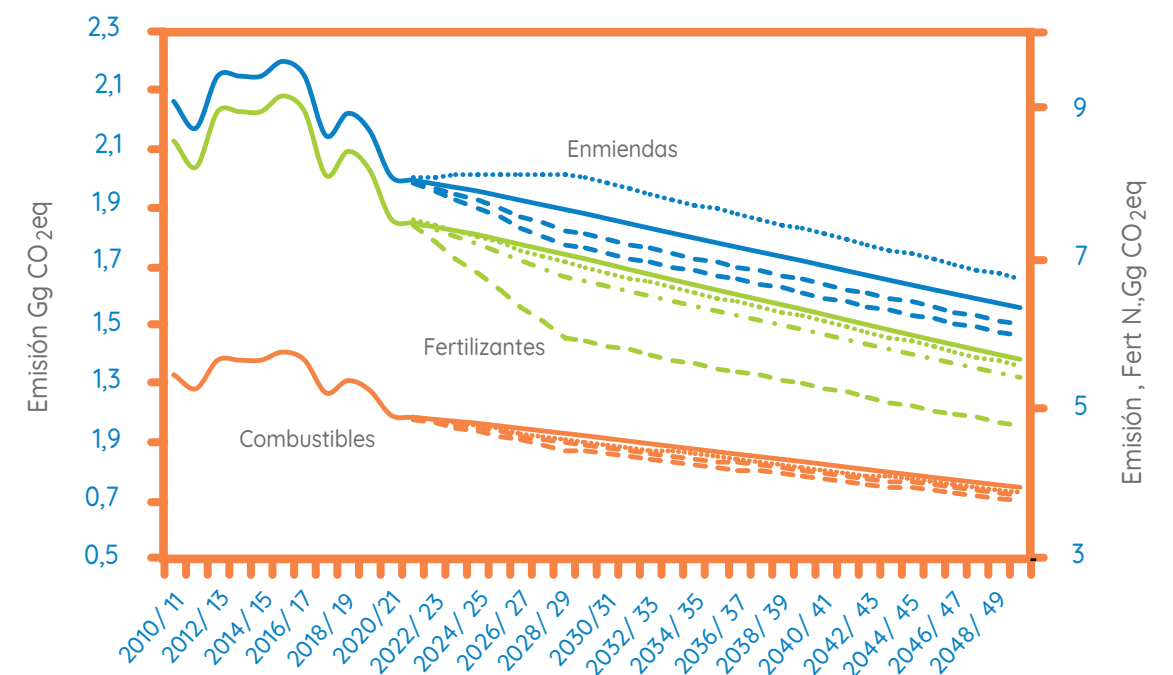


Figura 16.

Escenarios de mitigación, Gg CO₂eq: Turrialba.

Importante mencionar que, en el caso particular de Turrialba, por poseer una zona alta (>1.000 msnm) donde se cultiva caña (cantones de Alvarado, Jiménez (Juan viñas)), cuyo ciclo vegetativo tiene en promedio una duración de 18 a 24 meses desde siembra-corta hasta cosecha con elevados niveles de productividad (Chaves 2019abgh, 2020s; Barrantes y Chaves 2020; Chaves y Chavarría 2021a), debió efectuarse un detallado ejercicio de ajuste que permitiera anualizarla y acondicionarla para efectos comparativos con las otras localidades.

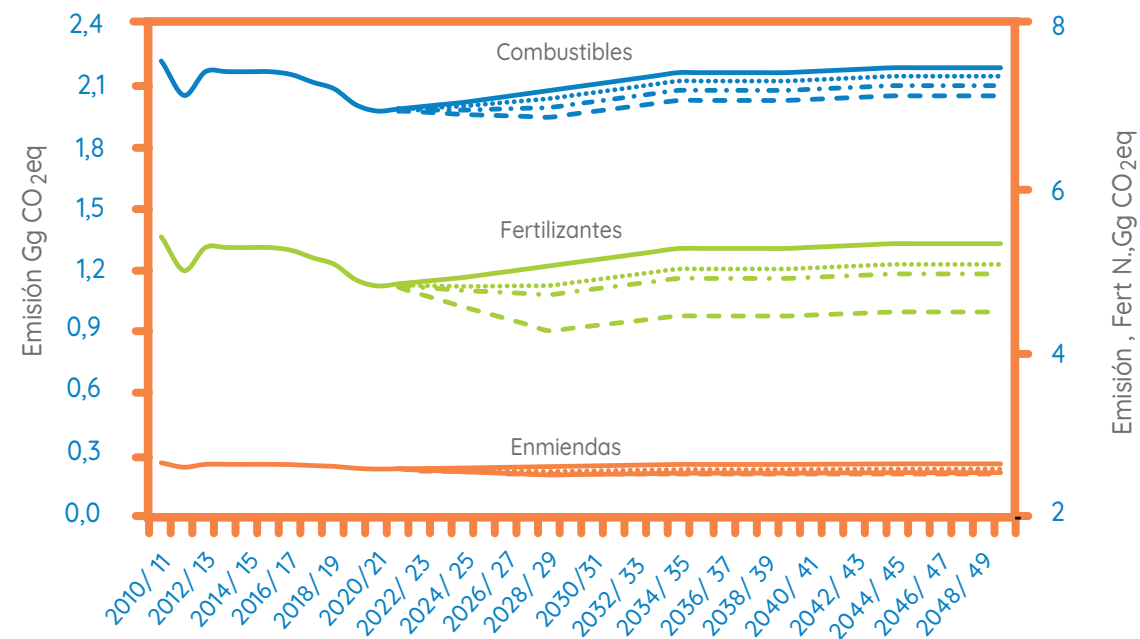


Figura 17.

Escenarios de mitigación, Gg CO₂eq; Zona Sur.

Destaca el aumento en el tiempo mostrado por las emisiones principalmente en las regiones de Guanacaste, Zona Norte y en menor grado la Zona Sur, lo cual es el resultado del incremento de área (hectáreas) proyectado en su LB. Así también, la relativa estabilidad estimada ocurrir en el caso del Pacífico Central y la significativa declinación en las áreas de cultivo de caña prevista ocurrir en Turrialba y el Valle Central en los próximos años.

Esa tendencia incide de manera determinante en cuanto a la magnitud de las emisiones de GEI previstas ocurran en el periodo 2021-2050. Cabe recordar que las dos primeras zonas actualmente en activo crecimiento procesaron en la zafra 2020-2021 el 73,2% de toda la caña

molida en el país, con la cual se fabricó el 73,5% del azúcar (96° Pol) nacional, lo que magnifica y evidencia su importancia y representatividad.

Con el objeto de presentar de manera independiente los valores de mitigación expuestos y desagregados por fuentes de emisión para cada uno de los tres escenarios de mitigación propuestos y región productora involucrada, proyectados a la zafra 2049-2050, se adjunta el Cuadro 21. Como se infiere del mismo, es el escenario Optimista el que más dióxido de carbono (CO₂) mitiga y el Conservador, por el contrario, el de menos impacto al ubicarse más próximo a los valores de la LB. El escenario Intermedio se coloca entre los dos anteriores, sin que ello signifique un promedio de ambos.

Ese escenario aplica medidas de mitigación efectivas que no son tan fuertes como el Optimista, ni tan laxas como el Conservador. En esto es importante tener presente y considerar la magnitud, intensidad, costo implícito, impacto provocado sobre la productividad agroindustrial y la mitigación alcanzada; así como también, nunca desconocer el grado de sacrificio técnico y económico que para el agricultor significa atender la estrategia seguida y pragmatizada en el escenario implementado.

Cuadro 21.

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 |

1.8.3. Eficiencia de emisión (kg CO₂eq/t caña)

Este indicador resulta muy representativo para estimar la eficiencia ambiental de la producción cañera, ya que relaciona la emisión de gases, expresada como kilogramos de CO₂eq, con la producción, obteniéndose como resultado un valor que se expresa como kilogramos de CO₂eq emitidos por tonelada métrica de caña cosechada.

Desde esta perspectiva y de acuerdo con el contenido del Cuadro 22, resulta mejor el índice de emisión proyectado en la LB para la Zona Norte (20,6 kg CO₂eq/t), Guanacaste (21,7 kg CO₂eq/t) y Valle Central (24,6 kg CO₂eq/t) y más altos e ineficientes en Turrialba (46,7 kg CO₂eq/t) y el Pacífico Central (28,0 kg CO₂eq/t). La media nacional se estima en 27,9 kg CO₂eq/tonelada de caña cosechada.

Al realizar el mismo ejercicio en los tres escenarios de mitigación propuestos, se nota que la eficiencia de emisión varía en cada uno de ellos y de manera diferencial con relación a la región involucrada. El menor índice y por ende mayor eficiencia por unidad de biomasa proyectada al periodo 2049-50 se logra en el escenario Optimista, seguido por el Intermedio; mostrando al escenario Conservador como el menos eficiente con índices muy superiores y cercanos a los de LB, revelando un grado de mitigación inferior.

Como promedio nacional el escenario Optimista revela una reducción proyectada a la zafra 2049-2050 en relación con la LB de -3,82 kg CO₂eq/t de caña que implica un significativo -13,7%. El escenario Intermedio reduce por su parte las emisiones en -1,51 kg CO₂eq/t de caña para un -5,4% y el Conservador solamente disminuye un -0,42 kg CO₂eq/t de caña (-1,5%). Las diferencias entre regiones y escenarios son importantes, lo que ratifica la inconveniencia de hacer generalizaciones en esta materia tan sensible, dinámica y variable.

Cuadro 22.

Índice de Eficiencia (intensidad) de Emisión (kg CO₂eq x t caña cosechada)

| Región | Línea Base | Escenario | | |
|------------------|------------|-----------|------------|-------------|
| | | Optimista | Intermedio | Conservador |
| Guanacaste | 21,72 | 18,52 | 20,43 | 21,18 |
| Pacífico Central | 27,98 | 21,51 | 25,99 | 27,33 |
| Valle Central | 24,60 | 22,52 | 23,96 | 25,03 |
| Zona Norte | 20,63 | 18,86 | 19,44 | 20,15 |
| Turrialba | 46,73 | 40,62 | 44,38 | 46,52 |
| Zona Sur | 25,50 | 22,20 | 23,87 | 24,46 |
| Promedio | 27,86 | 24,04 | 26,35 | 27,44 |
| Diferencia (kg) | - | -3,82 | -1,51 | -0,42 |
| Diferencia (%) | - | -13,7 | -5,4 | -1,5 |

Nota: La diferencia expresada en kg y % va referida con relación a la Línea Base.



Los valores anteriores se anotan y expresan en el Cuadro 23 respecto a su diferencia nominal (kg CO₂q/t) con relación a la LB de cada región agrícola, lo que permite dimensionar la magnitud de éstas al proyectarlas al periodo 2049-50, ratificando que en el escenario Optimista los niveles de mitigación de GEI son mayores con relación a los otros dos escenarios alternativos propuestos. En el Cuadro 24 se presenta la misma información anterior anotada y expresada en este caso por su valor porcentual respecto a la LB, lo que permite dimensionar las diferencias en una misma unidad de referencia. Este criterio comparador evidencia la magnitud de las diferencias encontradas entre escenarios y regiones productoras.

Para el caso particular de Guanacaste la reducción potencial de la cantidad porcentual de CO₂eq emitido por tonelada de caña cosechada, alcanza en el escenario Optimista un índice de 14,7% y en el Conservador apenas de 2,4%; en tanto que en la Zona Norte las mismas propuestas corresponden a índices de 76,1% y 2,3%, revelando un mayor impacto de mitigación en la segunda región cuando la interpretación se realiza en términos porcentuales. En ambas localidades el escenario Intermedio propone una reducción muy similar de 5,9% y 5,8%, respectivamente.

Cuadro 23.

Reducción potencial de la cantidad (kg CO₂eq/t) emitida por tonelada de caña cosechada.

| Región | Escenario | | |
|------------------|-----------|------------|-------------|
| | Optimista | Intermedio | Conservador |
| Guanacaste | -3,20 | -1,29 | -0,54 |
| Pacífico Central | -6,47 | -1,99 | -0,65 |
| Valle Central | -2,08 | -0,64 | 0,43 |
| Zona Norte | -15,69 | -1,19 | -0,48 |
| Turrialba | -6,11 | -2,40 | -0,20 |
| Zona Sur | -3,31 | -1,63 | -1,04 |

Nota: Corresponde a la diferencia en kg entre el valor local respecto a la Línea Base.

Cuadro 24.

Reducción potencial de la cantidad porcentual de CO₂eq emitida por tonelada de caña cosechada.

| Región | Escenario | | |
|------------------|-----------|------------|-------------|
| | Optimista | Intermedio | Conservador |
| Guanacaste | 14,75 | 5,95 | 2,49 |
| Pacífico Central | 23,12 | 7,10 | 2,32 |
| Valle Central | 8,45 | 2,59 | -1,76 |
| Zona Norte | 76,08 | 5,76 | 2,33 |
| Turrialba | 4,18 | 5,29 | 0,73 |
| Zona Sur | 12,97 | 6,40 | 4,09 |

Nota: Corresponde a la diferencia porcentual entre el valor local respecto a la Línea Base (Cuadros 24 y 25).

1.8.4. Impacto de la mitigación de GEI

Con el objeto de mostrar y evidenciar el grado de impacto de las medidas de mitigación sugeridas y a implementar en cada uno de los tres escenarios propuestos operar, se presenta el Cuadro 25 con la información referenciada hacia ese objetivo. Se considera que para la zafra 2049-50 la cantidad de CO₂eq emitida (LB) será de 104,7 Gg en el área proyectada para ese periodo estimada en 65.397 hectáreas, la cual luego de incorporar y ejecutar las medidas agronómicas de mitigación sugeridas en los tres escenarios propuestos (Optimista, Intermedio y Conservador) se reduce a 90,0; 98,6 y 102,4 Gg de CO₂eq, respectivamente; lo que implica porcentualmente la emisión de 86,0, 94,2 y 97,8 por ciento, respectivamente para cada escenario, de la emisión proyectada en la LB.

Con ese nivel de reducción en las emisiones de CO₂eq se alcanza al proyectarlo al 100% del área sembrada con caña, un porcentaje de mitigación del 14,0% en el escenario Optimista, del 5,8% en el Intermedio y del 2,8% en el Conservador.

Cuadro 25.

Proyección de impacto y reducción de CO₂eq emitido al año 2049-50 según escenario.

| Indicador | Escenario | | |
|--|-----------|------------|-------------|
| | Optimista | Intermedio | Conservador |
| Línea Base proyectada * | 104,7 | 104,7 | 104,7 |
| Emisión proyectada * | 90,0 | 98,6 | 102,4 |
| % Emitido | 86,0 | 94,2 | 97,8 |
| % Mitigación | 14,0 | 5,8 | 2,2 |
| Cobertura (ha) de área prevista cubrir | 75% | 75% | 75% |
| % de mitigación al año 2049-50 | 10,5 | 4,4 | 1,6 |
| Cantidad reducida Gg CO ₂ eq* | 11,0 | 4,6 | 1,7 |

Nota: Corresponde a valores de CO₂ eq emitidos proyectados al año 2049-50 respecto a Línea Base, dados en Gg.

*Dado en Gg CO₂ eq

Considerando que sectorialmente se decidió por parte de la organización cañero azucarera nacional implementar las medidas de mitigación previstas operar, ejecutándolas en un 75% y no en el 100% del área de cultivo proyectada exista hasta el periodo 2049-50, la mitigación estimada se reduce consecuentemente a 10,5%, 4,4% y 2,1%, respectivamente, para los tres escenarios propuestos. En consecuencia, se estaría reduciendo la cantidad de CO₂eq emitida referida a la LB 2049-50 a 11,0; 4,6 y 2,1 Gg, para los escenarios Optimista, Intermedio y Conservador, respectivamente.

De acuerdo con las estimaciones realizadas, el Cuadro 26 muestra que el sector primario de la actividad cañera en el periodo de 28 años continuos transcurrido entre las zafra del 2021-22 y la del 2049-50, la LB proyecta una emisión total acumulada de 2.997,8 Gg de CO₂eq.

Al incorporar la resultante de la gestión prevista a realizar y proyectada a los tres escenarios propuestos, dicha emisión se reduciría (Figura 18) 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.

Cuadro 26.

Reducción acumulada (Gg CO₂eq) estimada a zafra 2049-50

| Escenario | Proyección 21-22/49-50 | Reducción Acumulada |
|-------------|------------------------|---------------------|
| Línea Base | 2 997,8 | - |
| Optimista | 2 626,8 | -370,9 |
| Intermedio | 2 844,3 | -153,5 |
| Conservador | 2 939,8 | -58,0 |

Nota: Cantidad de CO₂ eq emitida y acumulada durante periodo 2021-22 a 2049-50 (28 años).

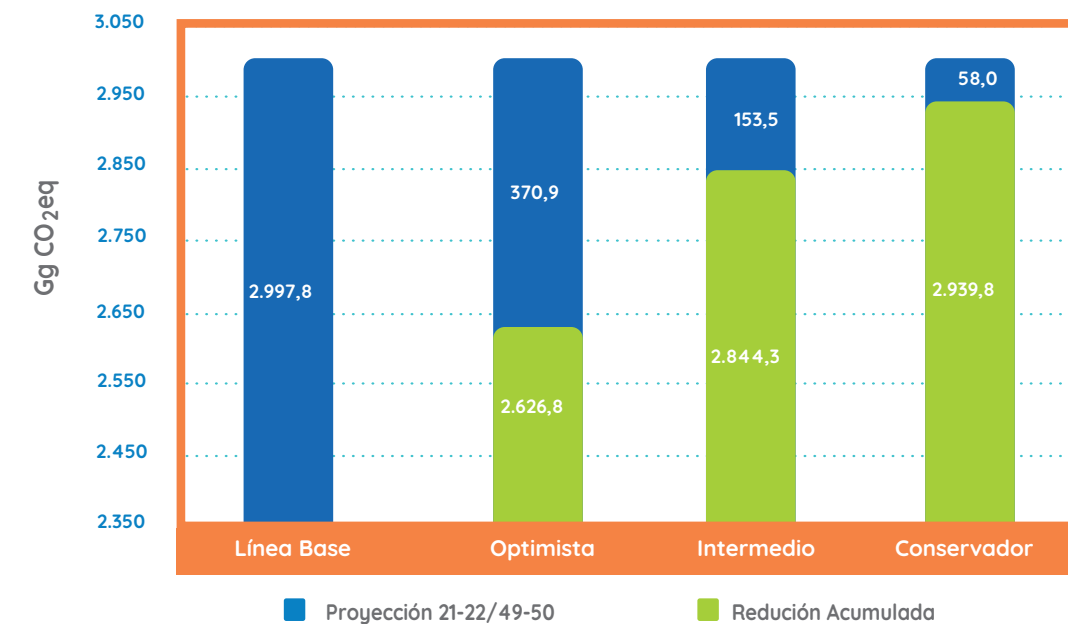


Figura 18

Reducción acumulada de GEI según escenario propuesto.



2. Mecanismo de Acompañamiento Técnico Institucional (MATI)

La actividad cañero azucarera nacional constituye una organización de gran trayectoria, exitosa, sólida, pujante, de accionar permanente y consistente en su ejercicio y cometido institucional durante los últimos 82 años de gestión continua que le han permitido su consolidación.

Su éxito se fundamenta en su institucionalidad, representada en este caso por seis CPC ubicadas en las seis regiones agrícolas, reunidas en FEDECAÑA; también en una CAZ que integra los 11 ingenios activos actualmente y LAICA como corporación líder de derecho público no estatal.

Destacan la presencia de dos importantes y reconocidas cooperativas (Coopevictoria R.L. y Coopeagri El General R.L.) que cuentan con unidades fabriles de procesamiento de caña y elaboración de azúcar. En lo técnico el sector posee un calificado Departamento Técnico (DT) en el área industrial y otro de Investigación y Extensión en el área agrícola (DIECA), encargados de generar productos y prestar servicio, fiscalización, asistencia técnica, apoyo, asesoramiento y colaboración a todo el sector agroindustrial.

En el Cuadro 27 se detallan y describen de manera sucinta algunas de las funciones básicas propias y particulares de esas unidades organizacionales, que en estrecha articulación con otras instancias público-privadas conforman el marco de acción para la implementación y operación de la NAMA Caña de Azúcar.

Para el acompañamiento técnico de la NAMA por desarrollar el sector cuenta con el apoyo directo y prioritario de todas esas instancias que conforman la organización cañero-azucarera, operadas bajo el concepto de cadena agroindustrial integrada y articulada en términos institucionales y funcionales; con lo cual, el productor de caña involucrado dispone del apoyo necesario y requerido del sector para el cumplimiento satisfactorio y oportuno de las actividades comprometidas y previstas desarrollar, como se expone en la Figura 19.





Figura 19.

Productor de caña de azúcar en el sector azucarero.

Bajo las condiciones y consideraciones anteriores el esquema vigente de acompañamiento técnico del sector podrá incorporar y operar la NAMA. Esto no representa una novedad operativa y funcional, aunque sí temática para el sistema organizacional actualmente en operación, la que podrá integrar y desarrollar la estructura institucional y operativa vigente ya consolidada desde años atrás. La Figura 20 presenta de forma esquemática un detalle del mecanismo y diseño operacional previsto desarrollar con la NAMA Caña de Azúcar.

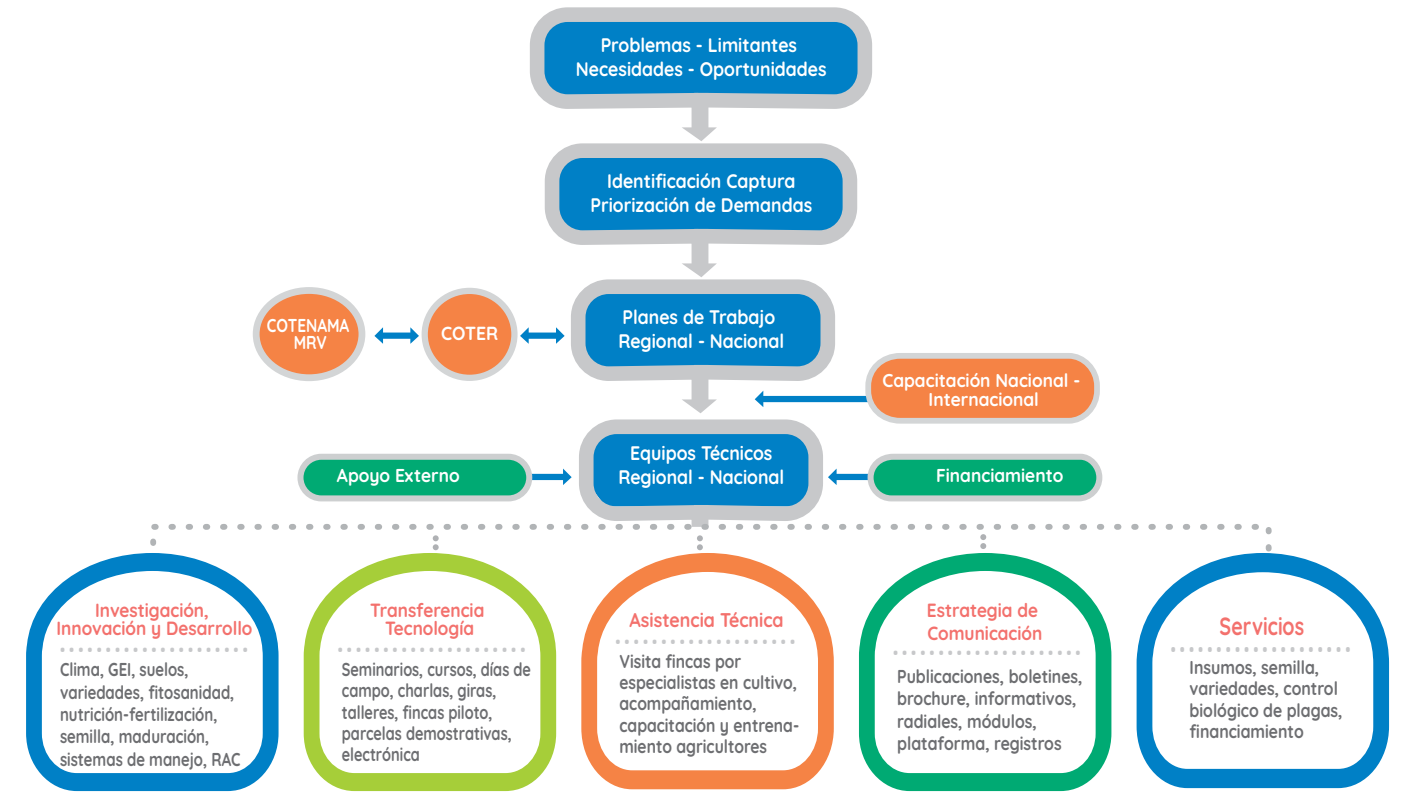


Figura 20.

Mecanismo de Acompañamiento Técnico Institucional (MATI).

En primera instancia la gestión será organizada y desarrollada en tres fases sucesivas y continuas, como sigue:

2.1. Fase 1: Identificación y priorización de demandas regionales y análisis de barreras

De la lectura correcta y el diagnóstico objetivo y oportuno del entorno agroproductivo propio y particular de cada región productora de caña destinada a la fabricación de azúcar en el país (seis en total), se identificarán los problemas, las circunstancias (entorno) y las limitantes (barreras para el cambio) que aquejan al productor de caña, las cuales serán en principio ordenadas por tópico y luego priorizadas con base en su relevancia, trascendencia e impacto. Complementariamente y de manera similar, se identificarán con sentido de conveniencia y visión de futuro, las áreas de oportunidad que existan para provocar la mejora integral y/o parcial pretendida de la actividad productiva y el incremento sostenido de los rendimientos agroindustriales. El tema y los elementos propios de la NAMA tendrán prioridad como asuntos por abordar y desarrollar para buscar la ecoeficiencia de todo el sistema agroproductivo.

2.1.1. Comités Técnicos Regionales (COTER) y abordaje técnico

El cambio tecnológico será ejecutado desde los Comités Técnicos Regionales (COTER), que corresponden a unidades operativas ya creadas y vigentes constituidas por calificados representantes sectoriales, las que son moderadas y coordinadas por el funcionario de DIECA destacado en el lugar. La estructura, función y funcionalidad de dichos comités está ya debidamente constituida, como lo indica Chaves (2011bc, 2015a) con gran detalle y se explica en el Anexo 11.

Los COTER constituyen un efectivo instrumento institucional de planificación, captura de demandas y áreas potenciales de oportunidad para actuar, que permiten identificar, priorizar, integrar y articular a nivel regional los tópicos y asuntos de naturaleza tecnológica (y otros) de mayor relevancia, necesidad y valor agregado desarrollados por DIECA con el apoyo de otras instancias sectoriales. En la Figura 21 se presenta un detalle de la conformación básica de dichos Comités, operando uno en cada región productora (6) con alcance y jurisdicción limitada.

No existe un patrón único, rígido e irrestricto en la conformación e integración de los COTER, por lo que la misma es variable y asociada a las características, condiciones y necesidades particulares de cada región y/o zona productora de caña; pese a lo cual la estructura básica sugerida es la siguiente:

- a. El funcionario de DIECA regionalizado en la zona, quien fungirá como coordinador.
- b. Dos representantes de la Cámara de Productores de Caña de su jurisdicción.
- c. Un representante de cada Ingenio situado en la región o zona productora de influencia.
- d. Un representante del Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG).
- e. Un representante del Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria (INTA).



Figura 21.

Conformación de los Comités Técnicos Regionales (COTER).



En torno a esta figura institucional, como señala Chaves (2015a) al respecto:

“...su operación está definida por una directriz muy básica que busca guiar y ordenar su accionar por la ruta deseada y para esto establece ciertas funciones clave:

1. *Coordinar dentro de su marco de acción institucional las acciones regionales que en materia tecnológica proponga y pretenda ejecutar el sector azucarero costarricense, en estricto apego y cumplimiento de lo establecido por la Ley N° 7818, Ley Orgánica de la Agricultura e Industria de la Caña de Azúcar (LAICA) de setiembre de 1998.*
2. *Identificar, integrar y articular las acciones, criterios, esfuerzos y quehaceres que se realicen a nivel regional en materia tecnológica y de apoyo institucional.*
3. *Recomendar la posible suscripción de convenios, acuerdos o acercamientos interinstitucionales con organismos público - privados de índole nacional e internacional.*
4. *Conocer, priorizar y recomendar los cambios que se estimen pertinentes al Plan Anual Operativo (PAO) de DIECA del periodo en su componente tecnológico, donde se identifican las principales acciones de investigación, innovación, transferencia de tecnología y servicios de apoyo dirigidas a los usuarios y beneficiarios del sector azucarero. La aprobación final del Plan de Trabajo (PAO) corresponderá sin embargo realizarla por jurisdicción y decisión superior al Comité Asesor del Departamento.*
5. *Uniformar y armonizar los criterios y metodologías empleadas en las actividades de investigación, innovación, transferencia y recomendación tecnológica, evitando y remediando la duplicidad y subjetividad de resultados.*
6. *Sugerir la organización de actividades grupales que favorezcan el análisis y la discusión de asuntos de interés región al, tanto general como particular.”*

2.2. Fase 2: Diseño y formulación del Plan de Acompañamiento Técnico

Una vez identificadas las barreras y limitantes, organizados los actores relevantes y priorizados los temas, dispuestos los medios para hacer la transformación tecnológica y, por tanto, mejor

ubicada y definida la demanda local necesario atender, se procede con la formulación del plan de acompañamiento regional organizado por programas y proyectado al tiempo que los tópicos ameriten y requieran. Algunos deberán ser operados virtud de su naturaleza y complejidad en el corto (<1 año), mediano (2-5 años) y largo plazo (>5 años), siendo otros de carácter permanente (ej. mejora genética de variedades, control fitosanitario, recarbonización del suelo, maduración de la planta).

La consolidación de esos seis planes regionales da origen al Plan Anual Operativo (PAO) institucional por desarrollar a nivel sectorial y, con esto, a la institucionalización de la NAMA Caña de Azúcar dentro del presupuesto institucional. El COTER deberá informar, presentar y analizar la pertinencia y alcances de dichos planes ante el Comité Técnico Sectorial (COTENAMA), donde serán contextualizadas las responsabilidades, metas y objetivos establecidas por la NAMA; así como la labor de MRV necesaria implementar.

2.3. Fase 3: Implementación y ejecución programática

Para la ejecución del PAO se deberán constituir los equipos de trabajo necesarios, conformados por especialistas de experiencia en las áreas de pertinencia técnica vinculadas al plan y pertenecientes a DIECA, DT de LAICA y la misma LAICA como organismo sectorial líder, Cámaras de Productores (6) e ingenios azucareros (11), a fin de conformar un equipo de muy alto nivel profesional con reconocida experiencia local.

Estos equipos deberán participar activamente en procesos de desarrollo de capacidades y actualización profesional desde el nivel nacional y favorecer la vinculación internacional en torno a temas atinentes a la tecnología, la acción climática y productiva. Para esta labor se espera contar complementariamente en interacción, con el apoyo de otras instituciones externas al sector azucarero, de alcance y con cobertura nacional e internacional.

Cada región, zona y localidad productora de caña posee necesidades, barreras, limitantes, potenciales y demandas muy diferentes que convocan y obligan a la participación institucional diferenciada, lo cual hace necesario establecer y articular vínculos con organismos tecnológicos como INTA, MAG, SFE, IMN, la Academia (UCR, UNA, ITCR, EARTH), CENAT/CONARE y CATIE. También los relacionados con la transferencia, la prestación de servicios y la información como MINAE, MICITT, INA, IICA y ATACORI. El apoyo y contribución de la empresa privada (casas comerciales) es determinante virtud de las materias asociadas y abordadas. El trabajo conjunto y articulado es el mecanismo necesario para implementar y cumplir satisfactoriamente con las metas y objetivos propuestos alcanzar por la NAMA Caña de Azúcar.



Existen para este efecto ya convenios interinstitucionales de apoyo y colaboración suscritos con algunas de ellas, como acontece con INTA e IMN y se requiere formalizar mecanismos similares con instituciones como INA, CATIE y otros, tarea a cargo de DIECA y LAICA. Las áreas de gestión y acompañamiento institucional están concentradas principalmente en cinco asuntos genéricos:

- a. Innovación, Investigación y Desarrollo (I+D)
- b. Transferencia de Tecnología (TT)
- c. Asistencia Técnica Especializada
- d. Información y Documentación
- e. Servicios

2.4. Instancias Relevantes para el MATI

A continuación, se exponen con detalle algunas de las capacidades, cualidades, competencias, áreas de gestión, servicios y productos que se requieren coordinar y articular de las instituciones vinculadas para apoyar y contribuir con la implementación del cambio tecnológico pretendido incorporar.

Liga Agrícola Industrial de la Caña de Azúcar (LAICA)

- a. Disponibilidad de infraestructura, laboratorios, equipos y especialistas en varias áreas de interés.
- b. Asesoramiento técnico en temas económicos, jurídicos y financieros para fines crediticios, contables y de manejo presupuestario, control y manejo ambiental, certificación de proceso y productos, legales y contractuales, entre otros.
- c. Aporte de recursos presupuestarios ordinarios y especiales.
- d. Manejo de estadísticas y datos oficiales especializados del sector (necesarios para MRV de la NAMA).

Departamento de Investigación y Extensión de la Caña de Azúcar (DIECA)

- a. Reconocimiento y vínculos nacionales e internacionales formales e informales en materia tecnológica.

- b. Liderazgo nacional para el desarrollo de proyectos con organización consolidada, infraestructura y equipamiento de alto nivel. También disponibilidad de profesionales altamente calificados y experimentados.
- c. Variedades de caña de azúcar adaptadas y resilientes a condiciones locales extremas (acidez, sequía, inundación, baja fertilidad, diferentes órdenes taxonómicos de suelo, poca luminosidad, resistencia o tolerancia a patógenos, alta capacidad productiva, alto despaje, porte erecto para mecanización, agricultura de ladera, ciclo vegetativo diferenciado, etc.).
- d. Oferta de agentes de control biológico de plagas: cobertura anual de 4.500 ha con el parasitoide *Cotesia flavipes* para control del barrenador del tallo (*Diatraea* spp) y de 4.500 para el control de diversas plagas (salivazo, picudo, chinche de encaje, cigarrita, áfidos), mediante el uso de hongos entomopatógenos. Total 9.000 ha/año, lo que significa el 19,2% de toda el área prevista de intervención de la NAMA (75% del área nacional de siembra).
- e. Oferta de 180.000 *vitroplantas* originadas por cultivo de tejidos y 250.000 plántulas obtenidas a partir de “yema pregerminada” para el establecimiento de semilleros básicos. Capacidad para ofrecer material vegetativo de 8 variedades mediante cultivo de tejidos y hasta 35 variedades mediante yemas. En conjunto, esto permite establecer al menos 43 ha de semilleros básicos en el primer año y material (2.800 toneladas de semilla mejorada) para establecer al menos 235 ha de semilleros comerciales en el segundo año, con lo que finalmente se podrían producir hasta 16.500 toneladas de semilla comercial para renovar entre 1.375 y 1.650 ha de caña con material vegetativo de primera calidad.
- f. Determinación del grado de compactación del suelo mediante uso de penetrómetro.
- g. Servicio de diagnóstico temprano de enfermedades virales, bacterianas y fúngicas, mediante prueba de PCR (Reacción en Cadena de la Polimerasa) de Punto Final.
- h. Determinación de grupos funcionales de microorganismos en el suelo.
- i. Investigación avanzada en producción de los hongos *Trichoderma* spp, *Lecanicilliumlecanii* y *Purpureocillium lilacinus*, entre otros.
- j. Investigación avanzada en identificación y selección de hongos y bacterias promotoras del crecimiento vegetal mediante mecanismo de fijación biológica de nitrógeno, solubilización de fósforo y otros procesos afines, a nivel de invernadero.

- k. Investigación avanzada en fuentes biomásicas para la producción de biocarbón (biochar), incluyendo residuos biomásicos procedentes de la agroindustria de la caña de azúcar y su caracterización fisicoquímica.
- l. Investigación a nivel de invernadero para determinar el potencial del biocarbón (dosis, fuentes, formas, proporciones), como insumo para reducir los niveles de aplicación de fertilizantes químicos.
- m. Investigación para determinar procesos que permitan dar valor agregado a los residuos de la agroindustria (RAC) de la caña de azúcar.
- n. Investigación en cuanto al aporte de nutrientes y materia orgánica de abonos verdes provenientes de plantas leguminosas (*Crotalaria spectabilis*, *C. juncea*, *Glicine max*).
- o. Investigación en la producción de cultivos en asocio con la caña de azúcar (*Arachis hipogaea*).
- p. Investigación avanzada en nuevos sistemas de siembra como el surco transversal para disminuir la cantidad de semilla utilizada por unidad de área.
- q. Investigación sobre el efecto de la aplicación de madurantes orgánicos e inhibidores de la floración en la recuperación de azúcar
- r. Investigación en la producción de biofermentos (bioles) a partir de microorganismos de montaña, y su enriquecimiento con sales minerales como alternativa para la nutrición del cultivo.
- s. Estudios específicos sobre el manejo de la nutrición del cultivo con énfasis en nitrógeno, abordando temas como fuentes, dosis, formas de aplicación, fraccionamiento, efecto productivo y costos asociados.
- t. Estudios sobre nuevas fuentes de nitrógeno de liberación lenta y controlada; también inhibidores de nitrificación.
- u. Estudios con abonos orgánicos abordando temas como fuentes, dosis, formas de aplicación, tiempos de aplicación, proporciones (en relación con fertilizantes minerales) efecto productivo y costos asociados.
- v. Estudios específicos sobre aplicación de enmiendas (correctores de acidez del suelo) abordando temas como fuentes, dosis, formas de aplicación, tiempos y frecuencias de aplicación, efecto productivo y costos asociados.

- w. Diagnóstico y valoración de productos aplicados en la nutrición del cultivo disponibles en el mercado (abonos, fertilizantes foliares, activadores).
- x. Estudio sobre recarbonización del suelo mediante curvas de contenido de Carbono Orgánico del Suelo (COS) valoradas en el tiempo.
- y. Asistencia técnica especializada en todo el país.
- z. Transferencia de tecnología grupal empleando didácticas diferentes acordes a la necesidad y oportunidad.
- aa. Conocimiento en métrica de CC (MRV)

Federación de Cámaras de Productores de Caña (FEDECAÑA)

- a. Acompañamiento en materias de interés sectorial como crédito, relaciones intersectoriales e interinstitucionales.
- b. Participación en actividades de gobernanza y MRV de la NAMA.

Cámaras de Productores de Caña (Regiones)

- a. Apoyo y acompañamiento de la gestión productiva regional en fase primaria.
- b. Propuesta de iniciativas sectoriales de mejora local.



- c. Proveedoras de insumos necesarios y servicio técnico en fase agrícola por medio de sus almacenes regionales.
- d. Aporte de personal técnico especializado.
- e. Participación en actividades de gobernanza y MRV de la NAMA.

Ingenios Azucareros (Regiones)

- a. Disponibilidad y aporte de profesionales altamente calificados.
- b. Apoyo técnico y logístico en materia agroindustrial.
- c. Aporte de recursos y productos (semilla, abonos).
- d. Prestación de servicios técnicos (mano de obra, mecanización, cosecha).
- e. Infraestructura y equipamiento.
- f. Participación en actividades de gobernanza y MRV de la NAMA.

Departamento Técnico de LAICA

- a. Aporte de profesionales calificados y experimentados.
- b. Apoyo técnico y logístico en materia agroindustrial.
- c. Disponibilidad de equipos de laboratorio e infraestructura sofisticada.
- d. Prestación de servicios técnicos en análisis químico de muestras.
- e. Participación en actividades de gobernanza y MRV de la NAMA.

Asociación de Técnicos Azucareros de Costa Rica (ATACORI)

- a. Capacitación e información de alto nivel a técnicos y productores.
- b. Acercamientos técnicos e institucionales con otras agroindustrias.
- c. Organización y desarrollo de eventos técnicos especializados (seminarios, congresos, charlas, talleres).

Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria (INTA)

- a. Servicio de análisis fisicoquímico de muestras de suelo, foliares y análisis de gases.
- b. Investigación avanzada en la producción y utilización de agentes de control biológico.
- c. Aporte de material biológico (cepas, géneros y especies) para reproducción.

- d. Investigación preliminar en el uso de bioestimulantes del crecimiento vegetal.
- e. Experiencia en producción de cultivos en sistemas bajos en emisiones.
- f. Experiencia en medición, reporte y verificación (MRV) de emisiones de GEI.
- g. Sistemas de información georreferenciada sobre factores de la producción.
- h. Apoyo de especialistas en áreas específicas como: CC, datos y FE, cálculo de LB de emisiones y escenarios de mitigación y suelos.
- i. Acceso a recursos fitogenéticos de interés científico (microorganismos y otros agentes biológicos).
- j. Infraestructura especializada para análisis y diagnóstico de fitopatógenos, nematodos, microbiología de suelos), mediante técnicas morfológicas y biología molecular.
- k. Acceso a Estaciones Experimentales (terrenos, infraestructura).
- l. Desarrollo compartido para estudios especializados (FONTAGRO).
- m. Aprovechamiento de la plataforma informativa PLATICAR.
- n. Apoyo para el acceso a recursos financieros nacionales e internacionales.

Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG)

- a. Apoyo para el acceso a recursos financieros nacionales e internacionales (OSACD).
- b. Colaboración en temas de transferencia tecnológica.
- c. Orientación en temas de acción climática (OSACD).
- d. Desarrollo compartido de estudios especializados.
- e. Capacitación y adiestramiento en certificación de agricultura orgánica.
- f. Promoción para iniciativas comerciales de azúcar bajo en emisiones.

Servicio Fitosanitario del Estado (SFE)

- a. Autorización para la importación y uso de agentes biológicos necesarios.
- b. Apoyo con especialistas en temas atinentes a recursos bióticos y ambientales.
- c. Apoyo y colaboración en temas de transferencia tecnológica especializada.
- d. Infraestructura especializada para análisis y diagnóstico de fitopatógenos, nematodos, microbiología de suelos), mediante técnicas morfológicas y biología molecular.

- e. Desarrollo compartido de estudios especializados.
- f. Apoyo para el acceso a recursos financieros nacionales e internacionales.

Instituto Meteorológico Nacional (IMN)

- a. Acceso a datos agroclimáticos.
- b. Desarrollo compartido de estudios especializados.
- c. Apoyo con especialistas en temas de pronóstico climáticos, ENOS, CC.
- d. Apoyo informativo mediante Boletín Agroclimático de Caña de Azúcar (BAC).
- e. Capacitación en sensores remotos, SIG, interpretación de imágenes satelitales de alta resolución.

Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE)

- a. Enlace con el Plan Nacional de Descarbonización.
- b. Apoyo con especialistas en temas atinentes a recursos bióticos y ambiente.
- c. Apoyo para el acceso a recursos financieros nacionales e internacionales.
- d. Apoyo técnico y de capacitación con especialistas de DIGECA.
- e. Asesoramiento y capacitación en materia de especies arbóreas.

Instituto Nacional de Aprendizaje (INA)

- a. Capacitación y adiestramiento en mantenimiento preventivo de maquinaria y equipo mecánico.
- b. Capacitación y adiestramiento en riego y drenaje.
- c. Capacitación y adiestramiento en técnicas de conservación del suelo.
- d. Capacitación y adiestramiento en agricultura orgánica.
- e. Capacitación y adiestramiento en la producción de abonos orgánicos.
- f. Asesoramiento en el dimensionamiento y adecuación de equipamiento para labores agrícolas.
- g. Acceso y adiestramiento en la producción insumos biológicos (La Chinchilla).
- h. Capacitación y adiestramiento formal y permanente en materia de vitroplantas (La Chinchilla).
- i. Desarrollo compartido de estudios especializados.



Universidad de Costa Rica (UCR)

- a. Capacitación en agricultura de precisión: aplicaciones / dispositivos móviles, sensores remotos, SIG, interpretación de imágenes satelitales de alta resolución (Escuela de Ingeniería Agrícola).
- b. Análisis de muestras de suelos, foliares y gases.
- c. Estudios y análisis especializados sobre: actividad enzimática del suelo, respiración y biomasa microbiana, escalamiento de agentes biológicos, identificación molecular de microorganismos (CIA-Lab. Microbiología Agrícola, CIBCM).
- d. Desarrollo compartido de estudios especializados.
- e. Estudios de graduación vinculados con temas ambientales, de suelo, nutrición, fisiológicos y microbiológicos por medio de tesis de grado y postgrado.
- f. Estudios de carácter ambiental (Centro de Investigación en Contaminación Ambiental-CICA).

Instituto Tecnológico de Costa Rica (ITCR)

- a. Capacitación en agricultura de precisión: aplicaciones / dispositivos móviles, sensores remotos, SIG, interpretación de imágenes satelitales de alta resolución.
- b. Capacitación y adiestramiento en sistemas de fijación/remoción de carbono mediante proyectos forestales.
- c. Apoyo tecnológico para implementar el aprovechamiento de la biomasa residual del cultivo de la caña de azúcar.
- d. Desarrollo compartido de estudios especializados.
- e. Estudios de graduación por medio de tesis de grado y postgrado asociados a temas de interés de la NAMA.
- f. Asesoramiento y capacitación en materia de especies arbóreas.
- g. Valorar la posibilidad de generar un prototipo de equipo mecánico pequeño apto para condiciones de cosecha de plantaciones especiales (área, pendiente, etc.).

Universidad Nacional (UNA)

- a. Aprovechamiento del Laboratorio de Estudios Ambientales.

- b. Capacitación en agricultura de precisión: aplicaciones / dispositivos móviles, sensores remotos, SIG, interpretación de imágenes satelitales de alta resolución.
- c. Desarrollo compartido de estudios especializados.
- d. Estudios de graduación por medio de tesis de grado y postgrado atinentes a temas vinculados con la NAMA, el ambiente y la productividad.
- e. Estudios de carácter ambiental (Instituto Regional de Estudios en Sustancia Tóxicas-RET).
- f. Asesoramiento y capacitación en materia de especies arbóreas.

Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA)

- a. Acercamiento con organismos internacionales afines al tema ambiental.
- b. Apoyo para la consecución de recursos logísticos y financieros internacionales.
- c. Colaboración en actividades informativas y de capacitación institucional.

Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE)

- a. Capacitación en agricultura de precisión: aplicaciones / dispositivos móviles, sensores remotos, SIG, interpretación de imágenes satelitales de alta resolución.
- b. Desarrollo compartido de estudios técnicos especializados de alto nivel.
- c. Estudios de graduación en postgrado sobre tópicos afines a la NAMA.
- d. Asesoramiento y capacitación en materia de especies arbóreas.
- e. Aprovechamiento del espacio físico disponible en sus instalaciones (área sembrada con caña).

Escuela de Agricultura de la Región Tropical Húmeda (EARTH)

- a. Capacitación en agricultura de precisión: aplicaciones / dispositivos móviles, sensores remotos, SIG, interpretación de imágenes satelitales de alta resolución.
- b. Desarrollo compartido de estudios especializados de alto nivel técnico.
- c. Estudios de graduación por medio de tesis de grado y postgrado.
- d. Asesoramiento y capacitación en materia de especies arbóreas.
- e. Asesoramiento y capacitación en materia de agricultura orgánica.

Universidad Técnica Nacional (UTN)

- a. Desarrollo compartido de estudios vinculados con el tema ambiental y productivo.
- b. Estudios de graduación por medio de tesis de grado.
- c. Aprovechamiento de terrenos e infraestructura disponible.

Ministerio de Ciencia, Innovación, Tecnología y Telecomunicaciones (MICITT)

- a. Consecución de recursos financieros internacionales.
- b. Asesoramiento en elaboración de proyectos para la consecución de recursos financieros.

Centro Nacional de Alta Tecnología (CENAT/CONARE)

- a. Trabajos conjuntos de alto nivel técnico con sus órganos especializados: Centro Nacional de Innovaciones Biotecnológicas (CENIBIOT) y Laboratorio Nacional de Nanotecnología (LANOTEC).
- b. Acceso a investigaciones de alto nivel científico en materias biotecnológicas.
- c. Disponibilidad de equipos especializados y profesionales que trabajan con los más altos estándares científicos.
- d. Capacitación en agricultura de precisión: aplicaciones / dispositivos móviles, sensores remotos, SIG, interpretación de imágenes satelitales de alta resolución.

Empresa Privada

- a. Capacitación en agricultura de precisión: aplicaciones / dispositivos móviles, sensores remotos, SIG, interpretación de imágenes satelitales de alta resolución.
- b. Desarrollo compartido de estudios especializados en áreas de interés de la NAMA y el cultivo de la caña de azúcar.
- c. Apoyo logístico y financiero (cofinanciamiento) a estudios de interés común por medio de tesis de grado y postgrado.
- d. Apoyo y orientación técnica en temas de mecanización de labores agrícolas.
- e. Aporte de insumos, materiales y recursos logísticos y financieros para el desarrollo de estudios de investigación, validación y Fincas Piloto.

Cuadro 27.

Apoyo institucional según área de gestión de organizaciones vinculadas (23).

| Institución | Área | | | | | | | | |
|----------------------|--------------------------|---------------------------|----------------------|-----------------|----------------|----------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| | Investigación Innovación | Transferencia Tecnológica | Insumos y materiales | Infraestructura | Equipo- miento | Recurso Humano | Recurso Financiero | Recurso Financiero | Recurso Financiero |
| LAICA | X | X | X | X | X | X | X | X | X |
| FEDECAÑA | | X | | | | | | X | X |
| Ingenios | X | X | X | X | X | X | X | X | X |
| Cámaras Productores | X | X | X | X | X | | X | X | X |
| DIECA | X | X | X | X | X | X | X | X | X |
| Departamento Técnico | X | X | X | X | X | X | X | X | X |
| INTA | X | X | | X | X | X | X | X | X |
| MAG | | X | | X | X | X | X | X | X |
| MINAE | | X | | | | | X | X | X |
| MICITT | | X | | | | | X | X | X |
| SFE | X | X | X | | | X | X | X | X |
| IMN | X | X | | | X | X | | X | X |
| INA | | X | | X | X | | | X | X |
| CENAT/CONARE | X | X | X | X | X | X | X | X | X |
| UCR | X | X | X | X | X | | X | X | X |
| UNA | X | X | X | X | X | | X | X | X |
| ITCR | X | X | X | X | X | | X | X | X |
| UTN | X | X | X | X | X | | X | X | X |
| CATIE | X | X | | X | X | X | X | X | X |
| IICA | | X | | | | | | X | X |
| EARTH | X | X | X | X | X | | X | X | X |
| ATACORI | | X | | | | | | X | X |
| Empresa Privada | X | X | X | | X | X | X | X | X |

Nota: Opera bajo figuras diferentes: financiamiento, cofinanciamiento, donación, aportes parciales, etc.



3. Mecanismo de Innovación y Desarrollo (MID)

La implementación, ejecución y sobre todo la sostenibilidad de las actividades previstas realizar con el desarrollo de la NAMA Caña de Azúcar, para el cumplimiento satisfactorio de las metas y objetivos fijados, obligan operar y mantener una excelente labor de coordinación, articulación y armonización en todas las acciones que en diferentes materias y áreas de gestión se realicen en el corto, mediano y largo plazo. En esta labor el apoyo institucional resulta muy necesario de incorporar en consideración de la novedad, especialidad y naturaleza de las actividades implicadas en la NAMA.

No cabe duda de que la innovación, la investigación, la prestación de servicios técnicos y la transferencia de tecnología en sus diferentes y diversas concepciones y didácticas, resultan fundamentales para el correcto y oportuno cumplimiento en tiempo y forma de lo programado y previsto desarrollar a nivel sectorial.

Esta gestión implica y obliga a la organización cañero-azucarera nacional a establecer y mantener estrechas relaciones interinstitucionales tanto hacia lo interno como externo del sector y el país. Debe desempeñar, adicionalmente, un papel de liderazgo en su relación con los productores de caña, los industriales del azúcar, los cuerpos técnicos de investigación ubicados en ingenios y empresas relacionadas; así como también, en su conexión e interacción con instituciones públicas, privadas, académicas (Universidades) y centros de investigación tecnológica relacionados directa o indirectamente con la actividad productora de caña y fabricación de azúcar y derivados.

Las actividades que DIECA desarrolla como ente técnico especializado del sector, la ubican por área de ejercicio profesional y especialidad funcional, como la institución a tomar y ejercer el liderazgo en el desarrollo de la NAMA Caña de Azúcar.

Como es conocido, en DIECA se concentran y ejecutan, o en su caso se coordinan, la mayoría de las actividades que en materia de innovación, investigación y transferencia de tecnología agrícola se efectúan en Costa Rica en el cultivo de la caña de azúcar; motivo por el cual, mantiene estrechas relaciones y desempeña un papel de liderazgo con respecto a productores, empresarios, ingenios, organizaciones públicas y privadas de alcance nacional e internacional, centros de investigación y educación (universidades) relacionadas directa o indirectamente con la actividad cañero-azucarera.

El potencial y la capacidad actual de respuesta del sector azucarero a los retos del exigente mercado actual, se fundamenta en la competitividad comercial y la ecoeficiencia como ejes orientadores, lo que coloca a la tecnología como su principal pilar de desarrollo, motivo por el cual la participación de DIECA es importante y determinante en la ejecución favorable y éxito final de la NAMA.

Para el cumplimiento cabal y satisfactorio de los objetivos, metas y obligaciones concebidos y establecidos en la NAMA Caña de Azúcar, el sector tiene previsto operar y desarrollar el mecanismo de innovación, investigación y desarrollo a través de un amplio y dinámico proceso de consulta que permite identificar, aproximar y aprovechar el potencial y las fortalezas de las organizaciones académicas, técnicas y financieras existentes en el país; complementadas con otras de igual naturaleza pero de carácter internacional.

En las Figuras 22 y 23 adjuntas se presenta de manera resumida el plano conceptual con los mecanismos de innovación, investigación y transferencia de tecnología desagregados según competencias institucionales y áreas de concentración temática implicadas.

Como Corporación líder, LAICA de conformidad con lo que establecen la Ley N°7818 de 1998 y su Reglamento (LAICA 1998, 2000) en materia de obligaciones y responsabilidades institucionales, integra en su accionar los dos sectores básicos de la agroindustria: a) el sector primario de producción agrícola representado por las seis Cámaras de Productores de Caña reunidas en FEDECAÑA y b) los 11 ingenios azucareros responsables de realizar el recibo, procesamiento y fabricación del azúcar y derivados, reunidos en la CAZ.

En el campo tecnológico ambas áreas de gestión son apoyadas y operadas a través de los Departamentos DIECA y Técnico con sumisión a LAICA, por medio de equipos profesionales regionalizados e infraestructura especializada que para tal fin se dispone. Cada región y zona productora de caña destinada a la fabricación de azúcar mantiene virtud de sus características y condiciones particulares, una organización propia para atender sus limitantes, problemas y demandas particulares; así como aprovechar los potenciales que existan en el lugar. Esta gestión es liderada y coordinada por la CPC y los Ingenios del lugar con el apoyo directo de LAICA a través de sus departamentos y unidades administrativas especializadas. Pese a que la concepción es nacional la operación se torna muy regional virtud de las significativas diferencias que prevalecen entre los entornos donde se cultiva y produce caña en el país.

En el caso particular de los mecanismos involucrados en materia tecnológica la relación, integración y articulación institucional es muy fluida y dinámica considerando la existencia de un sistema de acercamiento e involucramiento sectorial muy representativo, ya estructurado y consolidado como son los COTER, los cuales operan como órganos sectoriales de integración regional, ya comentados anteriormente, como lo expone con detalle Chaves (2011bc, 2015a).

3.1. Fases del mecanismo operativo

Tanto el Mecanismo de Investigación e Innovación (Figura 22) como generador de nuevas tecnologías; como también el de Desarrollo (Figura 23), transcurren por un proceso inicial que es común para ambas demandas, el cual puede concebirse en tres fases, como se describe a continuación:

3.1.1. Fase 1: Identificación y priorización de demandas tecnológicas regionales

El accionar en esta primera etapa está orientado básicamente a conocer, recabar y diagnosticar mediante consulta directa a productores, la situación prevaleciente en una determinada región, zona o localidad productora de caña en cuanto a los problemas y limitantes de carácter tecnológico prevalecientes y más incidentes en su labor de campo. Se identifican y consideran a su vez en ese diagnóstico, las oportunidades y potenciales de mejora que potencialmente puedan existir y aprovecharse para perfeccionar y hasta optimizar un determinado factor o la productividad agroindustrial integral del cultivo y la agroindustria del lugar.

Una vez obtenida y organizada esa visión y lectura de la realidad presente, se procede con la correspondiente categorización y asignación de prioridades a la misma, la cual ubica los asuntos por atender, abordar y procurar resolver en el menor tiempo y con la mayor calidad y celeridad posible. La priorización opera bajo un principio y relación beneficio-coste en el campo eco-competitivo, ambiental, productivo y comercial, y no apenas como un concepto de simple novedad; por lo que las mejoras incorporadas deben ser pragmáticas en su esencia y generadoras de valor agregado. Como es obvio comprender, muchas de las barreras y problemas evidenciados y manifestados por los agricultores no son siempre de naturaleza o vínculo tecnológico, los cuales deben ser sin embargo conocidos y trasladados a las instancias sectoriales correspondientes para su debida atención, pues expresan el sentir del productor y lo afectan en su disposición a invertir en tecnología.

Bajo esta premisa de trabajo se ubican, contextualizan y priorizan los asuntos de carácter técnico, biótico y abiótico vinculados y con afectación del cultivo por clima, variedades, fitosanidad, suelos, preparación y mecanización de terrenos para siembra, semilla y semilleros, aplicación de enmiendas, riego y/o drenaje, manejo de plantaciones, nutrición y fertilización, maduración y cosecha, remanga, manejo de retoños y residuos biomásicos (RAC) y agroindustriales, entre otros. Como se apuntó, adicionalmente surge la ocasión de valorar nuevas opciones y oportunidades tecnológicas de mejora productiva. Es en esta primera fase formal del proceso donde deberán visualizarse, considerarse y proponerse incorporar expresamente los tópicos ambientales y los relacionados con la mitigación de GEI de acuerdo con las características y condiciones propias de cada localidad. De igual manera deben ubicarse y asignarse los indicadores y las medidas de MRV a seguir.

En esta etapa como quedó consignado participa activamente el COTER como instrumento sectorial representativo y calificado técnicamente para realizar una labor objetiva y de calidad por región y localidad productora.

3.1.2. Fase 2: Diseño y formulación del Plan de Trabajo

Luego de superar la fase anterior se definen y seleccionan las acciones que se considera objetivamente necesario implementar y desarrollar para atender las demandas priorizadas y procurar su solución. Para esta labor se organizan y establecen áreas temáticas de gestión, sea clima, suelos, genética, manejo de cultivo, mecanización, ambiente, maduración y cosecha u otras áreas afines con el mecanismo de investigación e innovación tecnológica (Figura 22); o en su caso, asociadas con tópicos de transferencia tecnológica

Los asuntos concebidos y propuestos por la NAMA Caña de Azúcar que se implementará, deberán ser plenamente identificados, incorporados en contenido, forma y tiempo. De igual manera, los tópicos específicos por tratar deben por facilidad y responsabilidad organizarse en programas, actividades y acciones puntuales donde se identifiquen los responsables de ejecutarlas y las responsabilidades asumidas en tiempo, forma y lugar, de manera que permitan desarrollar la acción de MRV implicada con mucha fluidez. Los indicadores fijados deben ser razonablemente reveladores del cumplimiento de la meta esperada alcanzar en cada caso. Esta fase es muy importante pues debe sustentar presupuestariamente y además asignar los recursos implicados a las acciones por desarrollar, sean de recurso humano, insumos, infraestructura, equipo, espacio físico (campo, laboratorio, invernadero), entre otras.

En materia de mejora tecnológica y ajuste del sistema actual de producción a los objetivos propuestos alcanzar por la NAMA en el campo ambiental y de incremento de la productividad agroindustrial, se deberá cotejar lo que se hace con lo que podría y debería hacerse. Conociendo que las áreas de mayor emisión de GEI en la fase primaria (agrícola) de la actividad se encuentra en el uso de combustibles fósiles, la aplicación de enmiendas correctivas de acidez al suelo y la emisión de óxido nitroso (N₂O) por el uso de fertilizantes nitrogenados; resulta obvio que es ahí donde deberán concentrarse e implementarse las medidas de reducción. De igual manera, es por experiencia conocido cuales son los principales factores que promocionan la mejora productiva sostenida, entre los que están los genéticos, edáficos, hídricos, fisiológicos, climáticos y de manejo agronómico.

En lo pragmático algunos de esos tópicos son de implementar, otros de validar comercialmente y los más novedosos de investigar, lo cual deberá el COTER resolver y dilucidar de acuerdo con lo conocido y priorizado para cada región y localidad. En el campo de la mecanización y operación de equipos y maquinaria agrícola es imperativo proceder con diagnósticos que revelen el tipo y estado de los mismos para operar programas de renovación, mantenimiento preventivo y adecuación de acuerdo con las necesidades del lugar, la labor y la unidad productiva asociada.

Es imperativo revisar el sistema operativo actual de cosecha y transporte de la materia prima al ingenio, buscando incrementar capacidades (toneladas), reducir distancias (km), agilizar y dinamizar tiempos. También promover y favorecer el apoyo de ingenios, entre otras medidas que conduzcan a optimizar el sistema de preparación de suelos, siembra, laboreo y cosecha de plantaciones. El aporte y apoyo de LAICA, FEDECAÑA, CPC, CAZ, Cooperativas, Ingenios, MAG y el INA es fundamental en esta gestión, lo cual se logrará mediante acuerdos y convenios específicos en cada materia y localidad.

Tanto el uso de enmiendas como los fertilizantes nitrogenados aplicados al suelo merecen un abordaje y tratamiento especial en todos los ámbitos señalados: implementar, validar e investigar temas técnicos. Es imperativo conocer en primera instancia el estado actual de las prácticas en cada localidad para juzgar y decidir con sentido crítico y realista dónde y cómo actuar. La experiencia dicta necesario atender con prioridad temas relacionados con las características fisicoquímicas del sustrato suelo; la variedad sembrada; el manejo que se da al sistema suelo-planta-atmósfera; la condición microbiológica el suelo; los programas de fertilización (química y orgánica) incorporados en cuanto a fuentes, dosis, nutrimentos, épocas, formas y momentos de aplicación, requerimientos, eficiencia y pérdidas potenciales; potencial de uso de bioinsumos; antecedentes y experiencias anteriores entre muchos otros.

Como se indicó, algunas de esas áreas tecnológicas implican insoslayablemente implementar y adoptar criterios asociados con la agricultura de precisión, buscando su optimización para maximizar beneficios y minimizar pérdidas. Otros deberán ser investigados por medio de estudios de muy alto nivel científico con participación de centros calificados como acontece con la recarbonización del suelo, medición de emisiones GEI, fijación biológica de N, actividad microbiológica del suelo, fertilización foliar y líquida, contaminación, estrés ambiental, etc. El apoyo profesional, logístico y financiero es fundamental en este caso, para lo cual el poder contar con la participación del IMN, la Academia (UCR, UNA, ITCR, UTN, EARTH), CATIE, IICA, las Empresas Agrocomerciales y otras del ámbito nacional Internacional propias de la agroindustria del azúcar, entre otras, resultan insoslayablemente necesarias.

Una vez diseñados, revisados y formulados por los cuerpos técnicos con el apoyo de los representantes institucionales vinculados, los planes y programas de trabajo regional, los mismos serán conocidos por el Comité Técnico Sectorial (COTENAMA), quién los integrará y consolidará en un plan nacional asegurando e incorporando las medidas de MRV necesarias implementar y seguir según los indicadores fijados. El COTENAMA podrá solicitar revisión y reconsideración de cualquier inconformidad o desajuste que pudiera existir con los objetivos y metas planteadas por la NAMA Caña de Azúcar, para lo cual se diseñará un protocolo específico que establece las funciones y responsabilidades de esta importante y determinante figura institucional.

3.1.3. Fase 3: Implementación y ejecución programática

Cómo se indicó y para lograr una mayor facilidad comprensiva, es importante concebir que el Mecanismo de Investigación e Innovación y el Mecanismo de Desarrollo operan con alguna independencia en sus dispositivos y módulos de gestión e instituciones participantes, aunque genéricamente forman parte de un único proceso continuo y sistemático. La gestión desarrollada puede ser a su vez simultánea en tiempo, donde se investiga, innova y transfiere a la vez.

Como se infiere de las Figuras 22 y 23 las áreas de gestión temática, los asuntos tratados y las instituciones participantes son diferentes en los dos mecanismos involucrados, lo cual inevitablemente se proyecta a la realización pragmática del sistema como un todo.

El Mecanismo de Investigación e Innovación (Figura 22) que opera como se indicó de manera complementaria al Mecanismo de Desarrollo, es muy importante en el proceso tecnológico y generación de nuevas tecnologías en consideración de que identifica en primera instancia y de primera mano los problemas, barreras y limitantes, y recoge las demandas de carácter técnico más incidentes y necesarias atender del sector productor. Esto le permite priorizar y ubicar las posibles soluciones sea por la vía de la investigación, la innovación o la simple validación de una tecnología en una condición particular de producción; no todo requiere ser investigado. Adicionalmente, es en este mecanismo donde deben generarse las nuevas tecnologías potencialmente aptas de implementar para cumplir con las expectativas de la NAMA.

Para satisfacer las demandas las mismas deben ubicarse y tratarse de acuerdo con su naturaleza temática, para lo cual se cuenta en DIECA con cinco áreas de gestión especializada, como son: climática, edáfica (suelos), genética, propias del cultivo y otras de diversa naturaleza. De esta forma el abordaje y valoración de cada tópico se torna específico y es desarrollado por especialistas en la materia.

En este mecanismo se han identificado como posibles instituciones colaboradoras DIECA, ingenios, INTA, MAG, SFE, IMN, Academia (UCR, UNA, ITCR, UTN, EARTH), CATIE, empresas agro-comerciales y los centros y estaciones internacionales vinculadas con la agroindustria, entre otras.

MECANISMO DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN

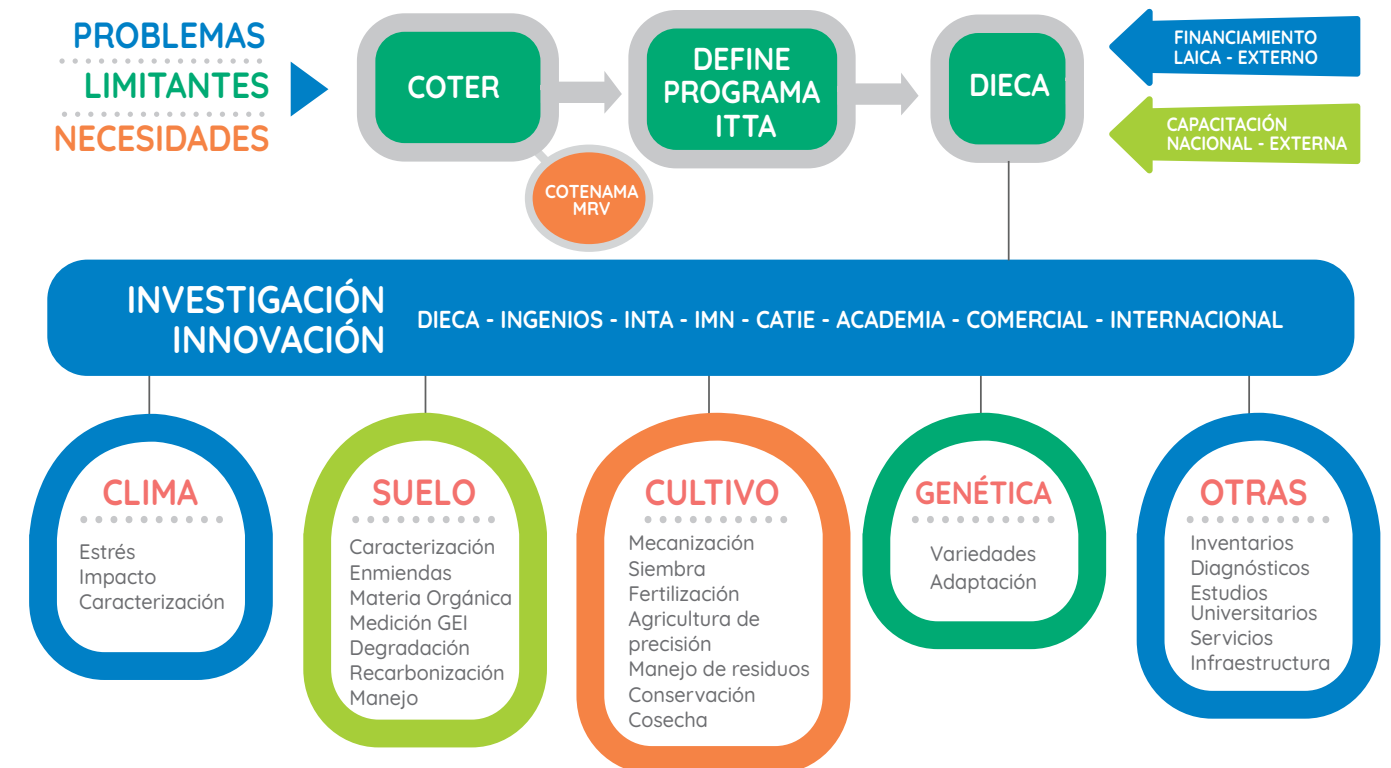


Figura 22.
Mecanismo de Investigación e Innovación

En el caso del Mecanismo de Desarrollo (Figura 23) se identifican la información, la capacitación y el adiestramiento de productores y técnicos; así como también el establecimiento y seguimiento de las Fincas Piloto (FP) y Parcelas Piloto (PP) demostrativas, la prestación de servicios profesionales de asistencia técnica especializada, el apoyo con servicios tecnológicos, el establecimiento y operación de una plataforma de información y registro con módulos.

En este mecanismo se han identificado como posibles instituciones colaboradoras las siguientes: DIECA, LAICA, FEDECAÑA, Cámaras, Cooperativas, ingenios, INTA, MAG, SFE, INA, IMN, ATACORI, Academia (UCR, UNA, ITCR, UTN, EARTH), CATIE, IICA, SBD, empresas agro-co-



mercadales y las de carácter internacional vinculadas con la agroindustria, entre otras. Cada una de ellas opera en áreas diferentes del conocimiento por lo que su participación es puntual y específica para los tópicos pertinentes vinculados. El apoyo puede ir relacionado con facilitación de infraestructura, cofinanciamiento y aporte económico para la ejecución de proyectos y actividades, facilitación de expositores, aporte de material didáctico, apoyo logístico, etc.



Figura 23.
Mecanismo de Desarrollo

3.2. Mecanismo de Integración MATI - MID

La convergencia e integración y articulación operativa y funcional entre los Mecanismos de Acompañamiento Técnico Institucional (MATI) y de Innovación y Desarrollo (MID), está sustentado y se da de manera formal por medio de la actuación que cada una de las instancias representadas que los conforman, lideradas por LAICA. No puede desconocerse pues es parte esencial del sistema propuesto operar, que la actividad desarrollada por el sector azucarero costarricense está conformada por una cadena de valor muy completa y sofisticada donde participan, se integran y articulan las gestiones desarrolladas en las áreas agrícola, industrial y comercial, donde todas las actividades están estrechamente ligadas. Importante considerar que la relación en el MATI está sustentada por elementos jurídicos establecidos por la legislación azucarera vigente; además de una conducta institucional ya arraigada y consolidada con la operación institucional de muchos años.

La relación con otras instancias externas a la agroindustria se da por medios también formales a través de convenios, contratos o simples acuerdos entre partes, muchos de los cuales están vigentes. En el tema tecnológico la relación tal vez menos formal pero muy activa y efectiva, surge de la participación de la agroindustria por medio de DIECA dentro del SNITTA, donde las relaciones interinstitucionales son amplias, antiguas y muy dinámicas, lo que asegura el enlace y la participación en actividades de interés común. Como se explicó, hacia lo interno del sector el liderazgo de DIECA es manifiesto y operado por varios medios entre ellos el COTER. La experiencia con el trabajo mancomunado y articulado es añeja y muy positiva, lo que da sustento a su continuación y ampliación.

No puede en esto omitirse que el apoyo comprometido por el Estado en el Plan Nacional de Descarbonización (PND) de la economía costarricense, compromete a las instituciones públicas, lideradas en este caso por MINAE y el MAG a brindar todo el apoyo requerido y necesario a la NAMA Caña de Azúcar, para que la meta de lograr una producción de azúcar baja en emisiones sea un éxito de acuerdo con lo propuesto.





4. Estrategia de Mercadeo y Comercialización³

La comercialización del azúcar a nivel internacional, al ser un “commodity”, cuenta con pocas identificaciones o distintivos que inclinen la decisión de compra hacia uno u otro proveedor, en cuyo proceso intervienen y pesan más elementos de calidad aparente como el color, la humedad o el nivel de concentración de sacarosa o pureza (Pol).

El sector ha realizado importantes esfuerzos en el ámbito de la sostenibilidad, en donde la producción amigable y con conciencia ambiental han tomado relevancia; de allí que certificaciones como Comercio Justo y Bonsucro son solicitadas e influyen en la decisión de compra de los compradores (“traders”) y clientes, principalmente internacionales. Los ingenios y productores costarricenses de caña de azúcar han hecho el esfuerzo de cumplir con las normativas vigentes para certificarse y mantenerse vigentes dentro los programas antes mencionados, a pesar de que el reconocimiento de US\$2,00 - US\$3,00 por tonelada métrica de azúcar, es más bien simbólico.

El desarrollo y comercialización de un producto innovador como azúcar certificado bajo en emisiones GEI, requerirá esfuerzos importantes de identificación de mercados de interés, creación del concepto y propuesta de valor; así como de saber comunicar las bondades y valor social, ambiental y comercial que tiene este nuevo tipo de azúcar.

Darle valor al consumidor final, que conozca y valore el origen de sus alimentos y en el presente caso, que conozca de donde proviene el azúcar que consume y que el proceso productivo empleado está aportando a la cadena de valor de agricultura responsable y sostenible. Esta no es una tarea fácil y tampoco se puede basar en esfuerzos aislados.

Para que el azúcar de Costa Rica certificado como bajo en emisiones, pueda sobresalir a nivel mundial, se deben establecer colaboraciones entre el Gobierno de la República, los organismos y las empresas comprometidas con el cumplimiento de las metas establecidas en COP 26, de forma tal que formen alianzas que promuevan este tipo de iniciativas.

Lo antes mencionado forma parte del artículo 6 del reglamento por concluir del Acuerdo de París, en donde menciona: “...*algunas Partes podrán optar por cooperar voluntariamente en la aplicación de sus contribuciones determinadas a nivel nacional para lograr una mayor ambición en sus medidas de mitigación y adaptación y promover el desarrollo sostenible y la integridad ambiental*”.

Para darle valor de cara a los compradores internacionales y de cara al cliente final, se deben:

³ Colaboración de Sra. Sandra Vega Herrera e Ivania Chaves Jiménez, ventas nacionales y exportaciones de LAICA, 2022

- a. Buscar recursos de programas existentes relacionados a las iniciativas del COP 26 para establecer un programa de bonificación e intercambio, que le aporte valor a aquellos que comercialicen, utilicen o consuman azúcar de Costa Rica baja en emisiones de GEI.
- b. Una vez implementado el proceso, dar a conocer de forma constante los beneficios que para Costa Rica significan que actividades como la ganadería y productos como café, banano, plátano, arroz y azúcar se encuentren operando bajo el esquema NAMA.
- c. Promover desde los encargados de la comercialización los beneficios de contar con azúcar de Costa Rica certificada baja en emisiones.
- d. Identificar y promocionar el azúcar fabricado con fundamento en la forma de producir la caña en el campo, bajo principios eco competitivos y eco eficientes, diferenciándola de los sistemas tradicionales.

Debido a que, según información de los clientes de LAICA, no existe demanda nacional ni internacional de azúcar bajo emisiones, como sí existe en otros productos, se plantean varias acciones relevantes para iniciar la promoción de este producto costarricense:

- a. Realizar investigaciones de mercado para identificar el nicho de mercado en que se podrían enfocar las ventas de este tipo de azúcar en una etapa inicial.
- b. Identificar el valor que se le puede dar a este azúcar considerándolo como un azúcar *premium*, de tal manera que el consumidor pague una prima adicional al comprar este producto y sienta que de esta manera contribuye a incentivar la producción amigable con el ambiente.
- c. Creación de un sello (logo) avalado por las autoridades nacionales que identifique que el azúcar costarricense es producido en un sistema bajo en emisiones. Ese sello se colocaría en todos los empaques, etiquetas y documentos comerciales. Se podría incluir también en las campañas publicitarias de LAICA, sitio web, redes sociales, brochures y demás material promocional y divulgativo.
- d. Elaboración de un brochure/folleto para entregarlo a las instituciones nacionales, organismos internacionales y clientes sobre la producción de azúcar bajo en emisiones y su impacto positivo sobre el ambiente y el CC.
- e. Emitir comunicados de prensa para informar a los consumidores locales e internacionales sobre los beneficios de la producción de azúcar bajo en emisiones.
- f. Utilizar la plataforma de PROCOMER para promocionar que el azúcar de Costa Rica es producido bajo en emisiones bajo el sello.

- g. Participar en ferias nacionales e internacionales donde se realce visualmente en los stands y en el material promocional los beneficios de este azúcar.
- h. Realizar un análisis de toda la cadena de suministro de tal manera que se dé prioridad a aquellos proveedores de servicios y materiales de empaque que controlen también las emisiones GEI o que tengan políticas de protección ambiental. Esto permitiría que se le garantice al consumidor un producto 100% amigable con el ambiente.
- i. Emisión de un certificado de azúcar bajo en emisiones que permita garantizarle al cliente dicha producción.

Para implementar estas acciones iniciales en busca de dar a conocer que Costa Rica tiene azúcar producido con un sistema bajo emisiones GEI, se estima un presupuesto de US\$155.000, detallado de la siguiente forma:

Cuadro 28.

Presupuesto asociado a la NAMA.

| Presupuesto asociado a la NAMA | Monto (US\$) |
|--|----------------|
| Estudios preliminares tipo CUAS | 40.000 |
| Diseño de marca y logotipo como identificador de marca | 15.000 |
| Plan promocional internacional RRSS | 30.000 |
| Promotoría B2B | 10.000 |
| Campaña B2C nacional | 60.000 |
| Total | 155.000 |



5. Esquema de gobernanza de la NAMA

La NAMA Caña de Azúcar como cualquier proceso de transformación sectorial, requerirá del apoyo e intervención de diferentes instituciones públicas y privadas para llevar a cabo, de forma progresiva, continua y ordenada, todas las acciones necesarias implementar y ejecutar para lograr el objetivo final.

En este sentido, es fundamental contar con la participación activa y directa de las siguientes cuatro organizaciones (Figura 24), las cuales, al iniciar la implementación de la NAMA Caña de Azúcar, nombrarán a las personas que los representarán para coordinar entre ellas la forma y frecuencia de sus sesiones de trabajo y seguimiento:

- LAICA (Liga Agrícola Industrial de la Caña de Azúcar)
- MAG (Ministerio de Agricultura y Ganadería)
- INTA (Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria)
- MINAE (Ministerio de Ambiente y Energía)



Figura 24.

NAMA Caña de Azúcar Costa Rica.

Sin embargo, este cuarteto institucional será apoyado, de acuerdo con cada actividad o etapa específica de desarrollo del proyecto, por instituciones públicas especialmente funcionales como el INA, IMN, ATACORI, la Academia, el CATIE, entre otras.

No obstante, LAICA, como entidad directora y reguladora del sector cañero azucarero de Costa Rica, será la principal responsable por liderar y coordinar la implementación del NAMA Caña, para lo cual utilizará tres equipos de su estructura organizacional:

- **DIECA:** es el departamento responsable de liderar y desarrollar la investigación, la asistencia técnica y la transferencia de tecnología a todo el sector agrícola de caña destinado a la fabricación de azúcar. Cuenta con experimentados profesionales especializados en áreas estrechamente relacionados con el objetivo principal de la NAMA, que se encuentran regionalizados y distribuidos en todas las zonas cañeras del país. Tendrá bajo su responsabilidad todos los procesos de investigación, de transferencia de tecnología y de coordinación propia de las actividades específicas del NAMA y del MRV. Será la instancia que liderará y orientará el proceso de implementación, escalamiento y seguimiento de la NAMA en todas sus diferentes áreas de gestión técnica.
- **Departamento Técnico:** área funcional de LAICA responsable de la implementación, control y fiscalización del Sistema de Pago de Caña de acuerdo con su Calidad, según lo establece la Ley No. 7818 (LAICA 1998, 2000). Cuenta con experimentados funcionarios destacados en cada región e ingenio durante los períodos de molienda; así como en las etapas previas para ejecutar procesos de registro de los productores entregadores. Este departamento fungirá como apoyo regional en la divulgación e implementación de la NAMA teniendo una participación transversal.
- **Departamento de Sostenibilidad:** unidad de LAICA que diseña, ejecuta y coordina todas las acciones enfocadas a la implementación de programas y proyectos alineados al Protocolo de Sostenibilidad del Sector Cañero Azucarero Nacional, con el objetivo de lograr producir el “Azúcar Sostenible de Costa Rica”. Este equipo profesional tendrá la responsabilidad de la divulgación a lo interno y externo del sector para convencer a los participantes sobre la importancia de la mitigación de GEI, de la búsqueda de recursos y apoyos que facilitan la implementación de la NAMA Caña; así como de generar la rendición de cuentas sobre los avances de cada etapa del proceso desarrollado.

Dentro de esta estructura se deben destacar tres figuras fundamentales para el éxito del proyecto (Figura 25):

- **FEDECAÑA:** Como entidad privada que organiza y representa a los productores de caña del país, será no solo un órgano de consulta y coordinación; sino también de participa-

ción altamente activa para lograr la transformación de las actividades agrícolas necesarias.

- **Cámara de Azucareros:** De igual forma, al ser la entidad que representa a los ingenios que, en este proyecto, operan como el segmento de los productores de caña que disponen de mayor extensión de tierra cultivada, será un órgano de consulta, coordinación y apoyo para la implementación de la NAMA.
- **COTENAMA:** Es el Comité Técnico Sectorial para NAMA, nombrado por la Junta Directiva de LAICA y conformado por profesionales reconocidos de amplia experiencia, que tienen bajo su responsabilidad el área agrícola y/o ambiental propia de cada ingenio; así como un representante por cada CPC de las seis regiones oficiales. Este Comité ha estado apoyando el diseño de la NAMA desde su inicio, aportando información técnica relevante y validando las propuestas planteadas. Dado esto, seguirá siendo fundamental su papel de órgano técnico orientador y fiscalizador para implementar, consultar y validar las acciones que conlleven el NAMA en su etapa de pilotaje y de escalonamiento. Oportunamente se deberá diseñar un protocolo de operación del mismo.

Desde su creación, cuando el sector trabaja procesos de transformación y estrategia, siempre se hace en total alianza y coordinación con todos los representantes de los diferentes eslabones de la agrocadena pues, según resultados, es la forma más efectiva y conveniente de ejecutarlo. Debido a esto, todo será coordinado, comunicado, socializado e implementado a través de esas cuatro instancias, garantizando con ello que se tomen en cuenta las necesidades, experiencias y consideraciones de todo el sector.





Figura 25.

Estructura de la Gobernanza de la NAMA.

DIECA está conformado actualmente por 41 funcionarios de los cuales 20 (49%) son profesionales en diferentes ramas relacionadas con su objetivo principal que, además de conocimiento técnico, le permite conocer y trabajar de forma directa con todo el sector primario (agrícola) de caña de azúcar en Costa Rica. Las principales áreas de trabajo de DIECA se muestran en la Figura 26.



Figura 26.

Estructura DIECA.

Respecto a DIECA, como área responsable y líder de la coordinación e implementación de las acciones técnicas en el campo, es trascendental comentar que LAICA cuenta, desde hace 40 años (1982-2022), con este departamento dentro de su estructura operativa y funcional que, como se detalló anteriormente, se encarga de todo lo relacionado con la investigación, la asistencia técnica y la transferencia de tecnología en apoyo directo a todos los miembros del sector.

Otra de sus fortalezas consiste en tener presencia regional en todas las zonas cañeras, lo que facilita el vínculo y contacto permanente con los actores de la producción agrícola. Por todo lo anterior, dentro de la estructura de LAICA, es el órgano técnicamente competente para liderar la implementación de la NAMA Caña de Azúcar de Costa Rica.



6. Sistema de Monitoreo, Reporte y Verificación (MRV)

6.1. Consideraciones generales

De manera generalizada todos los procesos de Monitoreo, Reporte y Verificación (MRV) de los programas NAMA, son mecanismos de operación sistemática que permiten determinar, cuantificar y dar seguimiento a la emisión de los GEI, sistematizar su registro y hacerlos disponibles para su verificación.

Específicamente el sistema de MRV de la NAMA Caña de Azúcar pretende evaluar el impacto de las medidas de mitigación implementadas, dirigidas a reducir o compensar las emisiones de GEI en la actividad productiva primaria del sector cañero azucarero nacional; de manera que permitan medir, dimensionar y/o estimar los cambios acontecidos en las emisiones de GEI y las capturas de carbono que resulten válidas durante la implementación del pilotaje, y también en el posterior desarrollo y escalamiento de la NAMA.

Este sistema deberá estar en armonía con el Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero (INGEI) y el Marco Reforzado de Transparencia del Acuerdo de París. Según acuerdos adoptados con el SINAMECC, el MRV de la NAMA será compatible y alimentará el Registro de Acciones de Mitigación que administra el SINAMECC, lo que asegura el alineamiento de los datos que generará el sistema, con los esfuerzos existentes y desarrollados a nivel país.

EL MRV deberá ser aplicable al sector primario cañero en una primera etapa durante la operación del PLP, donde se evaluará la necesidad y pertinencia de incorporar cualquier cambio o ajuste requerido en el sistema propuesto, con el fin de desarrollar el diseño final del MRV para su escalamiento en etapas posteriores.

El Sistema de MRV se basa en la recopilación de DA del sector, mediante el desarrollo de un Sistema de Información que incluye una App para recopilación de datos. El MRV pretende determinar el resultado de la modificación de las prácticas de cultivo intervenidas en cuanto a la emisión de GEI y poder comparar la misma con los escenarios propuestos.

De igual forma, la medición, evaluación y análisis periódico de los indicadores a desarrollar y verificar, permitirán determinar la sostenibilidad económico-productiva del sistema de producción evaluado.

Los objetivos del Sistema de MRV son:

- Disponer de un Sistema de Registro de Información ordenado para cada actividad, dentro de cada fuente de emisión de GEI identificada.
- Contabilizar las emisiones de GEI de cada fuente del sector productivo primario de la caña de azúcar definidas en la NAMA.
- Dar seguimiento a la emisión de GEI y determinar el impacto de la implementación de las medidas de mitigación propuestas implementar bajo la NAMA.

La conceptualización del MRV en la NAMA Caña se aprecia en las Figuras 27 y 28.



Figura 27.

Conceptualización del Sistema de MRV.

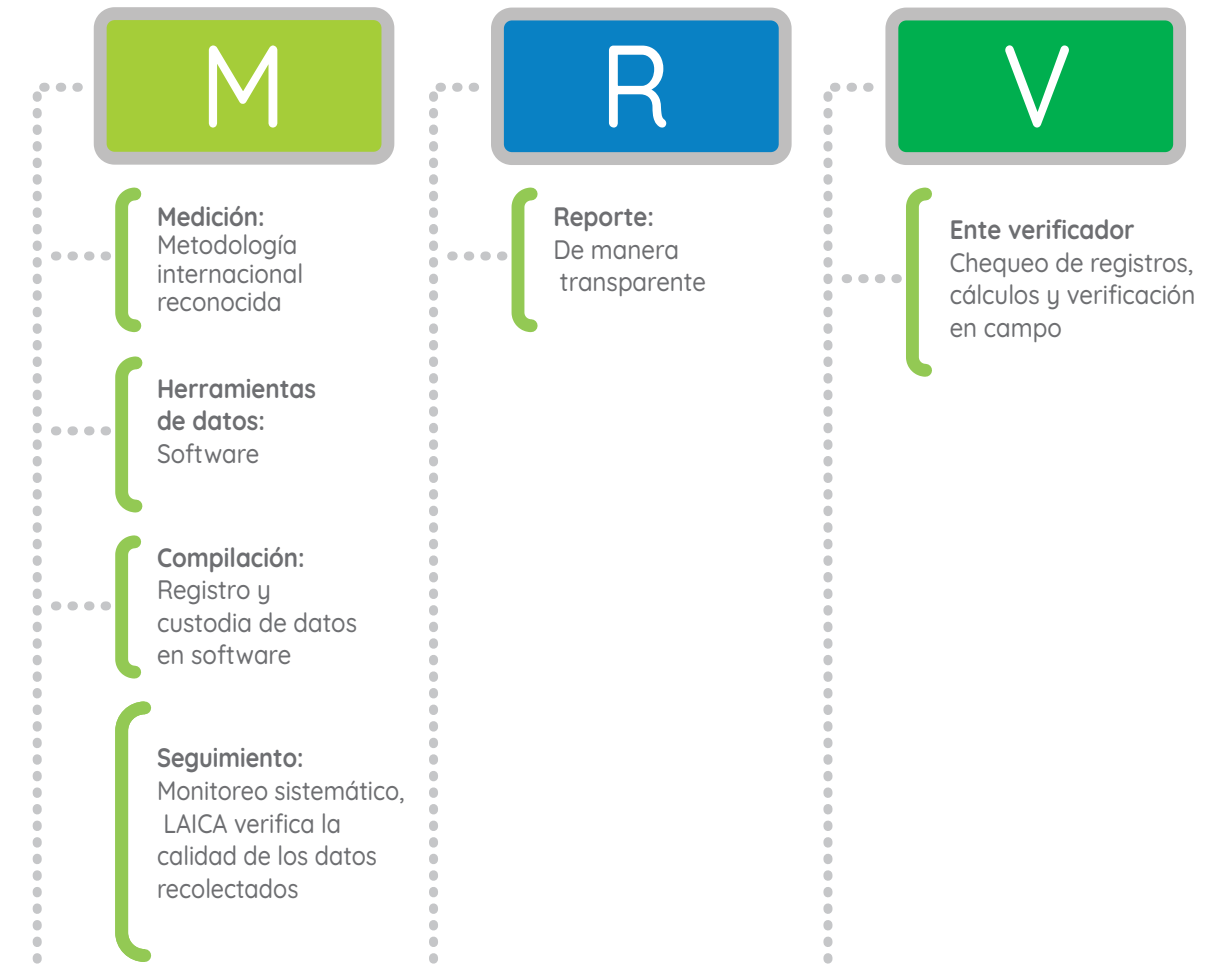


Figura 28.

Conceptualización del MRV de la NAMA Caña de Azúcar.

La propuesta del Sistema de MRV le da seguimiento al comportamiento de las emisiones en el tiempo, y evalúa la efectividad de las medidas de mitigación implementadas; además, permite identificar posibles desviaciones con respecto a los escenarios originalmente propuestos.

No es competencia del Sistema MRV definir, establecer o recomendar medidas de mitigación, sino la de determinar el resultado de las prácticas adoptadas y aplicadas, mediante la cuantificación de las emisiones a través de métricas aceptadas que permitan el análisis del desempeño de la actividad sin comprometer la productividad, sostenibilidad, sustentabilidad y rentabilidad del sector.

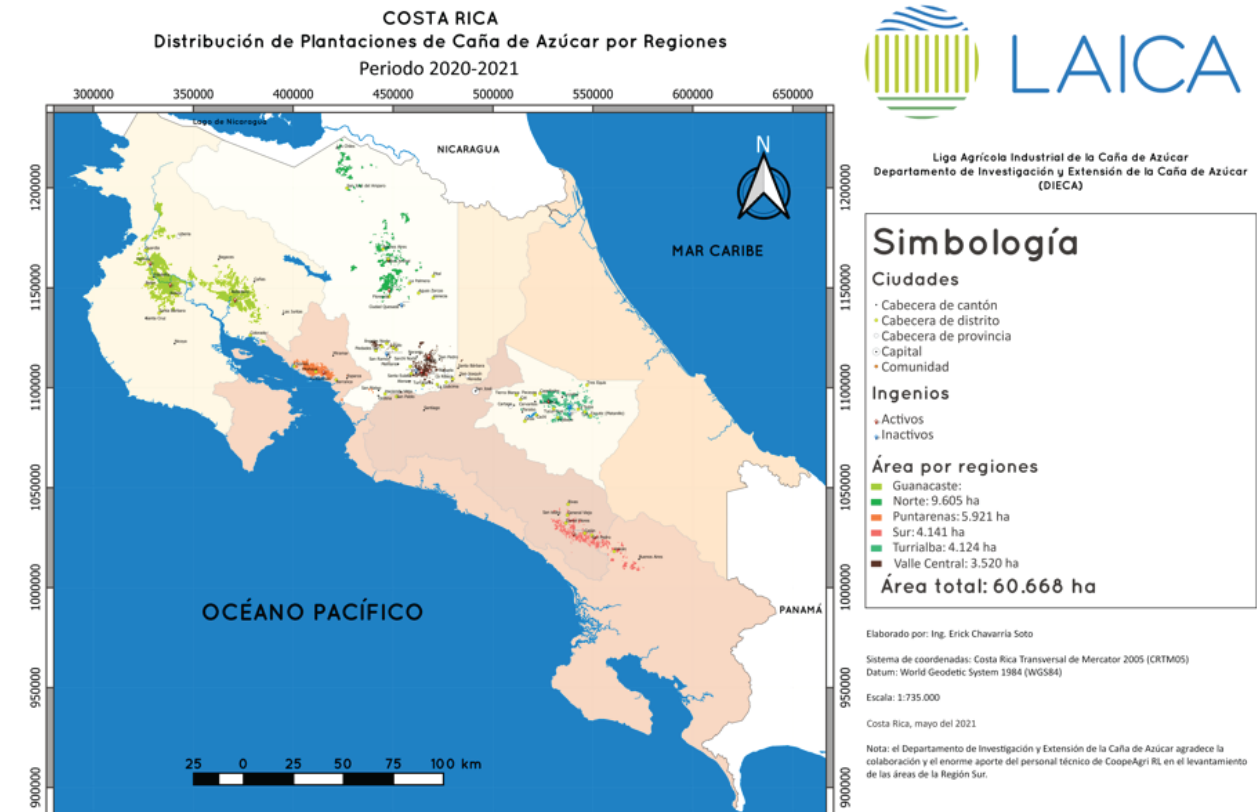


Figura 29.

Distribución territorial de las plantaciones de caña de azúcar en Costa Rica. Período 2020 – 2021.

Es importante destacar que LAICA por su rol de ente regulador del sector cañero azucarero, genera de forma anual y ordinaria estadísticas propias de la actividad desarrollada, por lo que ya hoy se cuenta con una parte importante de la información requerida que alimentará el MRV. Los datos con los que ya se cuenta corresponden a la Producción Total de Azúcar (PTA), Producción Total de Caña (PTC), Producción Total de Miel o Melaza (PTM), áreas (ha) de siembra y cosecha de caña; también los indicadores agroindustriales básicos de rendimiento de la actividad. Esta información será utilizada para el cálculo de indicadores requeridos en el contexto de la NAMA.

Por ejemplo, en lo concerniente a indicadores de rendimiento y productividad agroindustrial se publica en los boletines periódicos de la Secretaría Ejecutiva de Planificación Sectorial Agropecuaria (SEPSA 2021) que, a su vez, alimentan las Cuentas Nacionales que emplea el Banco Central y el Sistema Bancario Nacional en sus operaciones crediticias y de proyección socio económica. Estos datos estadísticos, se publican también en revistas sectoriales, boletines y diferentes análisis de cada zafra efectuada en Costa Rica para uso de los diferentes miembros del sector.

El costo de la implementación del MRV se incluye en el informe sobre Financiamiento y PLP.

6.2. Indicadores de la NAMA Caña de Azúcar

La fase de pilotaje del proyecto consistirá en el seguimiento que se hará de las acciones de mitigación aplicadas en las FP, las cuales serán estratégicamente seleccionadas en cada localidad procurando obtener una muestra (unidad productiva) representativa de la actividad azucarera desarrollada en cada una de las diferentes regiones productoras, representadas y ubicadas geográficamente en la Figura 29.

Además, las FP estarán delimitadas por el total de la propiedad del productor, es decir, no se limita solamente al área sembrada con caña de azúcar.

Los datos recopilados en cada FP serán extrapolados y proyectados para estimar información propia de las regiones correspondientes intervenidas; esto en aquellos casos en los que la información sea de difícil adquisición o con un costo económico muy elevado.

6.2.1. Producción

Representa el principal indicador de producción primaria y se establece bajo la premisa de que las medidas adoptadas mediante la implementación de la NAMA no deberán afectar negativamente la actividad productiva; sino más bien contribuir a la optimización de los recursos y la mejora sostenida en la eficiencia de los mismos, y como resultado potencial el incremento de la rentabilidad agroempresarial.

Los indicadores de producción a recolectar por región y por FP son los siguientes:

- Producción Total de Caña (PTC);
- Producción Total de Azúcar (PTA)
- Producción Total de Miel o Melaza (PTM)

Cuadro 29.

Ficha para el indicador Producción total de caña (PTC).

| Nombre del indicador | Producción Total de Caña (PTC) |
|---|---|
| Definición conceptual | Corresponde a la producción total de caña de azúcar en un periodo, temporada o zafra específica, para su utilización como materia prima para la extracción de sacarosa de 96°POL. |
| Forma de cálculo | Suma total de la caña entregada en los ingenios mediante el sistema de recibo de caña establecido por el Reglamento Ejecutivo descrito en el Decreto N°28665-MAG de la Ley Orgánica N°7818 de la Liga Agrícola Industrial de la Caña de Azúcar. |
| Componentes involucrados en la forma de cálculo | Entregas de caña como materia prima para la extracción de azúcar de 96° POL. |
| Unidad de medida | Toneladas métricas (t). |
| Interpretación | Producción absoluta de caña de azúcar por temporada de molienda o zafra. |
| 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 | Implementación de la NAMA en el 75% del área nacional sembrada con caña destinada a la fabricación de azúcar en el término de 10 años. |
| Periodicidad | Anual. |
| Fuente | Departamento Técnico de LAICA. |

Cuadro 30.

Ficha para el indicador Producción total de azúcar (PTA).

| Nombre del indicador | Producción Total de Azúcar (PTA) |
|---|---|
| Definición conceptual | Corresponde a la producción total de azúcar de 96°POL de un periodo, temporada o zafra específica. |
| Forma de cálculo | Suma total del azúcar 96° POL producido por los ingenios. |
| Componentes involucrados en la forma de cálculo | Reporte del azúcar producido por los ingenios y entregado a LAICA para su comercialización. |
| Unidad de medida | Toneladas métricas (t). |
| Interpretación | Producción absoluta de azúcar de 96°POL por temporada de molienda o zafra. |
| 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 | Implementación de la NAMA en el 75% del área nacional sembrada con caña destinada a la fabricación de azúcar en el término de 10 años. |
| Periodicidad | Anual. |
| Fuente | Departamento Técnico de LAICA. |



Cuadro 31.

Ficha para el indicador Producción total de melaza (PTM).

| Nombre del indicador | Producción Total de Miel Final o Melaza (PTM) |
|---|--|
| Definición conceptual | Corresponde a la producción total de miel final o melaza recuperada de un periodo, temporada o zafra específica. |
| Forma de cálculo | Suma total de la miel final (melaza). |
| Componentes involucrados en la forma de cálculo | Reporte de la miel final producido por los ingenios y entregado a LAICA para su comercialización. |
| Unidad de medida | Toneladas métricas (t) |
| Interpretación | Producción absoluta de miel final o melaza por temporada de molienda o zafra. |
| 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 | Implementación de la NAMA en el 75% del área nacional sembrada con caña destinada a la fabricación de azúcar en el término de 10 años. |
| Periodicidad | Anual. |
| Fuente | Departamento Técnico de LAICA. |

6.2.2. Áreas de siembra

Constituye otro indicador de máxima importancia y corresponde a la cobertura territorial total sembrada con caña, destinada a la fabricación de azúcar y derivados.

Las áreas de caña planta y renovada se registrarán justo en el momento de finalizar la siembra. Las áreas de semillero se registrarán luego de efectuada la siembra de las plantaciones, y al final de la cosecha se contabilizarán las áreas de caña soca.

Se deben identificar y determinar con la máxima precisión posible, las siguientes áreas de cultivo según estado vegetativo:

- Área Total con Caña Soca o de Retoño
- Área Total con Caña Renovada (Ciclo Planta)
- Área Nuevas de Caña
- Área de Semillero
- Área Cosechada

Cuadro 32.

Ficha para el indicador Área total con caña soca o de retoño.

| Nombre del indicador | Área total con caña soca o de retoño |
|---|---|
| Definición conceptual | Corresponde a las áreas cultivadas con caña de azúcar en estado vegetativo de soca o retoño que provienen del rebrote posterior al ciclo planta o primera cosecha. |
| Forma de cálculo | Estimación de campo obtenida mediante el uso de instrumentos basados en sistemas de información geográfica. |
| Componentes involucrados en la forma de cálculo | Mediciones de campo con instrumentación basados en sistemas de información geográfica, fotointerpretación de imágenes aéreas, procesamiento de datos georreferenciados. |
| Unidad de medida | Hectáreas (ha). |
| Interpretación | Área de caña destinada para la fabricación de azúcar de 96° POL en ciclo soca. |
| 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 | Implementación de la NAMA en el 75% del área nacional sembrada con caña destinada a la fabricación de azúcar en el término de 10 años. |
| Periodicidad | Anual. |
| Fuente | Ingenios, productores y técnicos de DIECA. |

Cuadro 33.

Ficha para el indicador Área total de caña renovada (Ciclo planta).

| Nombre del indicador | Área total de caña renovada (ciclo planta) |
|---|--|
| Definición conceptual | Corresponde a las áreas sembradas con caña de azúcar sembradas de nuevo para continuar con la actividad. Corresponde a la primera cosecha de la plantación luego de su renovación. |
| Forma de cálculo | Estimación de campo obtenida mediante el uso de instrumentos basados en sistemas de información geográfica. |
| Componentes involucrados en la forma de cálculo | Mediciones de campo con instrumentación basados en sistemas de información geográfica, fotointerpretación de imágenes aéreas, procesamiento de datos georreferenciados. |
| Unidad de medida | Hectáreas (ha). |
| Interpretación | Área de caña destinada para la fabricación de azúcar de 96° POL en condición de renovación, en ciclo planta y que será cosechada por primera vez luego de la siembra. |
| 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 | Implementación de la NAMA en el 75% del área nacional sembrada con caña destinada a la fabricación de azúcar en el término de 10 años. |
| Periodicidad | Anual. |
| Fuente | Ingenios, productores y técnicos de DIECA. |

Cuadro 34.

Ficha para el indicador Área nueva de caña.

| Nombre del indicador | Áreas nuevas de caña |
|---|--|
| Definición conceptual | Corresponde a las áreas de caña cuya materia prima proviene de terrenos que anteriormente estuvieron destinadas a otros usos y que fueron sembradas para producir caña para la fabricación de azúcar. El primer año de producción corresponderá a ciclo vegetativo de caña planta. |
| Forma de cálculo | Estimación de campo obtenida mediante el uso de instrumentos basados en sistemas de información geográfica. |
| Componentes involucrados en la forma de cálculo | Mediciones de campo con instrumentación basados en sistemas de información geográfica, fotointerpretación de imágenes aéreas, procesamiento de datos georreferenciados. |
| Unidad de medida | Hectáreas (ha). |
| Interpretación | Área de caña destinada para la fabricación de azúcar de 96° POL en ciclo planta y que será cosechada por primera vez luego de la siembra. |
| 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 | Implementación de la NAMA en el 75% del área nacional sembrada con caña destinada a la fabricación de azúcar en el término de 10 años. |
| Periodicidad | Anual. |
| Fuente | Ingenios, productores y técnicos de DIECA. |

Cuadro 35.

Ficha para el indicador Área de semilleros.

| Nombre del indicador | Áreas de semilleros |
|---|--|
| Definición conceptual | Corresponde a las áreas de caña de azúcar que se destinan a reproducir material vegetativo que será empleado como semilla para la siembra de plantaciones (nuevas o renovadas) destinadas a la producción de azúcar. |
| Forma de cálculo | Estimación de campo, mediante consulta, determinación de inventarios, y el de instrumentos basados en sistemas de información geográfica. |
| Componentes involucrados en la forma de cálculo | Entrevistas, reportes de inventarios, reportes de ventas de semilla y estimaciones de áreas de siembra. |
| Unidad de medida | Hectáreas (ha). |
| Interpretación | Área de caña destinada para la fabricación de azúcar de 96° POL en condición de renovación, en ciclo planta y que será destinada como material propagativo. |
| 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 | Implementación de la NAMA en el 75% del área nacional sembrada con caña destinada a la fabricación de azúcar en el término de 10 años. |
| Periodicidad | Anual. |
| Fuente | Ingenios, productores y técnicos de DIECA. |

Cuadro 36.

Ficha para el indicador Área de caña cosechada.

| Nombre del indicador | Área de caña cosechada |
|---|--|
| Definición conceptual | Se refiere al área del total sembrado que es efectivamente cosechada para la fabricación de azúcar de 96°POL. |
| Forma de cálculo | Mediciones de campo con instrumentación basados en sistemas de información geográfica, fotointerpretación de imágenes aéreas, procesamiento de datos georreferenciados. |
| Componentes involucrados en la forma de cálculo | Mediciones de campo con instrumentación basados en sistemas de información geográfica, fotointerpretación de imágenes aéreas, procesamiento de datos georreferenciados. |
| Unidad de medida | Hectáreas (ha). |
| Interpretación | Área de caña cosechada y destinada para la fabricación de azúcar de 96° POL. |
| Meta | Regional: por cada región productora de acuerdo a la división territorial definida por la Liga Agrícola Industrial de la Caña de Azúcar. Nacional: corresponde a la suma total de la producción regional. |
| Periodicidad | 0 (no se han iniciado mediciones). |
| Desagregación | Implementación de la NAMA en el 75% del área nacional sembrada con caña destinada a la fabricación de azúcar en el término de 10 años. |
| Línea base | Anual. |
| Fuente | Ingenios, productores y técnicos de DIECA. |

1.2.3. Indicadores de Rendimiento y Productividad

- Productividad Agrícola
- Rendimiento Industrial
- Productividad Agroindustrial
- Rendimiento de Miel
- Relación Caña/Azúcar
- Residuos Agrícolas de Cosecha (RAC)

Cuadro 37.

Ficha para el indicador Productividad agrícola.

| Nombre del indicador | Productividad Agrícola |
|---|---|
| Definición conceptual | Revela la cantidad de materia prima industrializable producida y recolectada en una zafra por unidad de área, y representa un índice de eficiencia que a la vez se utilizará para valoración económica de la actividad. |
| Forma de cálculo | Total de caña producida en toneladas métricas (t) dividido por el área cosechada en hectáreas (ha). |
| Componentes involucrados en la forma de cálculo | Total de caña producida y el área cosechada correspondiente. |
| Unidad de medida | Toneladas métricas por hectárea (t/ha). |
| Interpretación | Índice para la estimación del rendimiento agrícola de la actividad y sostenibilidad de la actividad en términos de rentabilidad. |
| 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 | Implementación de la NAMA en el 75% del área nacional sembrada con caña destinada a la fabricación de azúcar en el término de 10 años. |
| Periodicidad | Anual. |
| Fuente | Ingenios, productores y técnicos de DIECA. |

Cuadro 38.

Ficha para el indicador Rendimiento industrial.

| Nombre del indicador | Rendimiento Industrial |
|---|---|
| Definición conceptual | Es la cantidad de azúcar contenida en la caña procesada, extraída y recuperada en la fábrica a partir de una cantidad de materia prima molida. |
| Forma de cálculo | La cantidad promedio de azúcar de 96°Pol concentrada y recuperada en la fábrica a partir de la caña molida. Es un indicador de la riqueza de la materia prima molida en sacarosa. |
| Componentes involucrados en la forma de cálculo | Cantidad de caña molida (t) y cantidad de azúcar 96°POL recuperado. |
| Unidad de medida | Kilogramos de azúcar recuperada por tonelada métrica de caña cosechada y procesada en la fábrica (kg/t). |
| Interpretación | Índice para la estimación del rendimiento, calidad de la materia prima, eficiencia industrial de la actividad y sostenibilidad de la actividad en términos de rentabilidad. |
| 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 | Implementación de la NAMA en el 75% del área nacional sembrada con caña destinada a la fabricación de azúcar en un plazo de 10 años. |
| Periodicidad | Anual. |
| Fuente | Ingenios, productores y técnicos del Departamento Técnico de LAICA. |

Cuadro 39.

Ficha para el indicador Productividad agroindustrial.

| Nombre del indicador | Productividad Agroindustrial |
|---|--|
| Definición conceptual | Es la cantidad de azúcar 96°Pol fabricada en el ingenio referida a la unidad de área cosechada. Es un indicador combinado obtenido a partir de dos variables. |
| Forma de cálculo | Total de azúcar 96°Pol fabricada en el ingenio referida al área de caña cosechada. |
| Componentes involucrados en la forma de cálculo | Área cosechada (ha), total de caña producida en el área referida (t) y cantidad de azúcar 96°Pol fabricada. |
| Unidad de medida | Toneladas métricas de azúcar 96°POL por hectárea (t azúcar/ha). |
| Interpretación | Factor combinado que integra los dos indicadores básicos de productividad agrícola (t/ha) y rendimiento industrial (kg/t). Necesario para la medición de la rentabilidad del cultivo. |
| 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 | Implementación de la NAMA en el 75% del área nacional sembrada con caña destinada a la fabricación de azúcar en un plazo de 10 años. |
| Periodicidad | Anual. |
| Fuente | Ingenios, productores y técnicos de DIECA y del Departamento Técnico de LAICA. |

Cuadro 40.

Ficha para el indicador Rendimiento de miel.

| Nombre del indicador | Rendimiento de Miel o Melaza |
|---|---|
| Definición conceptual | Es la cantidad de miel final producida como residuo a partir de azúcares no cristalizables en la fábrica a partir de una cantidad de caña procesada. |
| Forma de cálculo | Corresponde a la cantidad promedio de miel final recuperada en la fábrica a partir de la caña molida. |
| Componentes involucrados en la forma de cálculo | Cantidad de caña molida y cantidad de miel final recuperada. |
| Unidad de medida | Kilogramos de miel final por tonelada métrica de caña cosechada y procesada en la fábrica (kg/t). |
| Interpretación | Índice necesario para la estimación del rendimiento, calidad de la materia prima, eficiencia industrial y sostenibilidad de la actividad en términos de rentabilidad. |
| 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 | Implementación de la NAMA en el 75% del área nacional con caña de azúcar en un plazo de 10 años. |
| Periodicidad | Anual. |
| Fuente | Ingenios, productores y técnicos del Departamento Técnico de LAICA. |

Cuadro 41.

Ficha para el indicador Relación Caña/Azúcar.

| Nombre del indicador | Relación Caña/Azúcar |
|---|--|
| Definición conceptual | Índice adimensional (t/t) que indica la cantidad de caña necesaria procesar (moler) para obtener una unidad de azúcar de 96°Pol. |
| Forma de cálculo | Cantidad de caña molida en toneladas divide entre la cantidad en toneladas métricas de azúcar 96°Pol r fabricado en el ingenio. |
| Componentes involucrados en la forma de cálculo | Cantidad de caña molida (t) y cantidad (t) de azúcar 96°Pol fabricado. |
| Unidad de medida | Toneladas molidas / kilogramos de azúcar (t/kg) |
| Interpretación | Índice empleado en la estimación de la actividad en términos de rentabilidad, que indica la cantidad de caña necesaria producir y moler para obtener una unidad de azúcar de 96°Pol en el ingenio. |
| 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 | Implementación de la NAMA en el 75% del área nacional sembrada con caña destinada a la fabricación de azúcar en un plazo de 10 años. |
| Periodicidad | Anual. |
| Fuente | Ingenios, productores y técnicos de DIECA y del Departamento Técnico de LAICA. |

Cuadro 42.

Ficha para el indicador Residuos agrícolas de cosecha (RAC).

| Nombre del indicador | Residuos Agrícolas de Cosecha (RAC) |
|---|---|
| Definición conceptual | Estima la cantidad de residuos biomásicos remanentes que quedan en el campo luego de efectuada la cosecha de la plantación. |
| Forma de cálculo | Medición del peso de los residuos por la unidad de área cosechada. |
| Componentes involucrados en la forma de cálculo | Cantidad de residuos (t) y unidad de área cosechada (ha). |
| Unidad de medida | Toneladas métricas por hectárea (t/ha). |
| Interpretación | Es la medida de la cantidad de biomasa que queda en el campo como rastrojo no industrializable de caña de azúcar posterior a la cosecha. |
| 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 | Implementación de la NAMA en el 75% del área nacional sembrada con caña de azúcar en un plazo de 10 años. |
| Periodicidad | Anual. |
| Fuente | Ingenios, productores y técnicos de DIECA. |

6.2.3. Captura de carbono

Se deberán identificar y estimar la contribución de todos los sumideros que contribuyan a la captura de carbono en las fincas productoras de caña de azúcar.

6.2.3.1. Captura de Carbono Orgánico en el Suelo (COS)

Los muestreos iniciales se realizarán en las FP al inicio de la implementación de la NAMA, y se repetirán en el año 3 y al final de esta etapa (año 5). Todos los muestreos se efectuarán en los mismos sitios, los cuales deberán ser georreferenciados con GPS en el muestreo inicial.

Para los muestreos del COS, las áreas a muestrear se estratificarán de acuerdo con el orden taxonómico del suelo y su topografía. En cada unidad las muestras se tomarán en forma compuesta y separadas al menos por 20 m entre ellas, en dos profundidades de 0-20 y 20-40 cm. En cada repetición se recolectarán muestras para determinar la Densidad Aparente (DAP), así como la concentración de carbono contenida en el suelo.

Los valores de cambio en los contenidos de COS determinados por unidad de área (ha) se extrapolarán al total del área de la finca y, el promedio de las fincas en cada orden de suelo para el área del mismo orden. A partir de ello se totalizará el cambio de COS dentro de cada región cañera. El agrupamiento de las regiones resultará en el cambio de contenido que se observe a nivel país.

Se relacionará el área total en cada estrato con el cambio observado en el COS para cada región, para determinar el potencial cambio de ese indicador.



Cuadro 43.

Ficha para el indicador Captura de COS.

| Nombre del indicador | Captura de Carbono Orgánico en el Suelo (COS) |
|---|--|
| 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) $CO_{suelo} = C_s * L_s * DAP * 10^4$ 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) DAP = 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 cm 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) |
| Interpretación | Parte media entre cepa de caña y centro del entresurco (FAO 2019) 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 | Anual 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. |

6.2.3.2. Captura de carbono por áreas boscosas compactas

Se determinarán las áreas de bosque secundario o plantaciones forestales existentes en las FP, donde se estima la captura de carbono medida en toneladas (t). Se utilizarán como referencia publicaciones científicas con datos de crecimiento de las mismas especies forestales identificadas en las fincas de productores de caña de azúcar, y realizarán en las regiones donde se ubican las fincas cañeras. Se consultará esta información para utilizarlas en el cálculo de la captura de carbono. La Ecuación 2 hace referencia a la forma de cálculo y estimación utilizada.

El monitoreo del área de este sumidero será periódico con plazo de un año, permitirá medir la evolución de las áreas boscosas utilizando herramientas del Sistemas de Información Geográfica (SIG) y la técnica de muestreo por puntos 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.



Cuadro 44.

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-1año-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-1año-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-1año-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-1año-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-1año-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 la Liga Agrícola Industrial de la Caña de Azúcar . Nacional: corresponde a la suma total de la producción regional. |
| Meta | 0 (no se han iniciado mediciones). |
| Línea base | 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 45.

Ficha para el indicador Captura de carbono por árboles dispersos.

| Nombre del indicador | Captura de carbono por árboles dispersos |
|---|---|
| Definición conceptual | <p>Inventario de árboles aislados, creciendo en cercas, a orillas de caminos, y cualquier otra condición que no sea de manera compacta.</p> <p>Se estima la captura de carbono en toneladas métricas (t). Se utilizarán publicaciones científicas con datos de crecimiento del bosque.</p> |
| Forma de cálculo | <p>Ecuación 3. Cálculo del volumen del fuste $V = DAP^2 * 0,7854 * A$</p> <p>Ecuación 4. Cálculo del carbono en el fuste $CF = V * 0,47$</p> <p>Ecuación 5. Cálculo del carbono en la biomasa total del árbol $CA = CF * 1,5$</p> <p>Ecuación 6. Cálculo del dióxido de carbono equivalente del árbol $CO_{2eq} \text{ árbol} = CA * 3,67$</p> <p>Fuente o referencia: Russo, R. 2009.</p> |
| Componentes involucrados en la forma de cálculo | <p>Ecuación 3. Cálculo del volumen del fuste $V = \text{volumen del fuste (m}^3\text{)}$ DAP = diámetro a la altura del pecho, aproximadamente 1,0 m (m) A = altura del árbol (m) 0,7854 = constante</p> <p>Ecuación 4. Cálculo del carbono en el fuste $CF = \text{carbono contenido en el fuste, m}^3\text{}$ V = volumen del fuste, m³ 0,47 = contenido de carbono en la materia seca de la madera</p> <p>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.</p> <p>Ecuación 6. Cálculo del dióxido de carbono equivalente del árbol CA = carbono total en la biomasa del árbol, CO₂eq 3,67 = relación peso molecular de CO₂/C (44/12)</p> |
| Unidad de medida | Toneladas de carbono por hectárea por año (tCO ₂ eq ha ⁻¹ año ⁻¹). |
| Interpretación | Medida de la cantidad de carbono que remueven los árboles dispersos |
| Desagregación | <p>Regional: por cada región productora de acuerdo a la división territorial definida por la Liga Agrícola Industrial de la Caña de Azúcar.</p> <p>Nacional: corresponde a la suma total de la producción regional.</p> |
| 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 ₂ eq 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. |

6.2.3.3. Captura de carbono por árboles dispersos

En esta sección se incluyen los árboles aislados, creciendo en cercas, a orillas de caminos, veredas y cualquier otra condición forestal que no sea de manera compacta. Se debe levantar un inventario con la cantidad y detalle de las especies presentes, para estimar en toneladas la captura de carbono en este componente. Se deberá medir el diámetro a la altura del pecho (DAP) y altura del fuste para estimar el potencial de captura.

El monitoreo de este sumidero será periódico con plazos de un año, permitirá actualizar la población de árboles dispersos utilizando herramientas de SIG y la técnica de muestreo por puntos sobre imágenes aéreas.

Se realizarán verificaciones de campo en los casos calificados en los que las imágenes satelitales no provean la resolución necesaria para efectuar el levantamiento de las poblaciones arbóreas.

Se realizará un inventario inicial de la cantidad de árboles dispersos en las fincas para determinar si el aporte es significativo o no, de manera que no se realizará la cuantificación en los casos en que el aporte sea poco relevante y significativo.

Los resultados obtenidos por el Sistema MRV en las FP se extrapolarán al área total de la actividad cañera desarrollada en cada región productora.

6.2.4. Emisiones GEI

Las emisiones de GEI se estimarán a partir de las fuentes directas identificadas durante la etapa de recolección de DA, para el establecimiento de la LB. Esto no limita ni evita que a futuro se puedan incorporar otras fuentes de emisión que se pudieran identificar durante la implementación del PLP. Para atender los puntos 6.2.4.1, 6.2.4.2 y 6.2.4.3 se aplicará el método siguiente de generación de información.

Cuadro 46.

Proceso de 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. |

Los datos por recolectar y reportar deberán consignarse por tipo de plantación de acuerdo con su ciclo y estado vegetativo, es decir, caña planta (semilleros, nueva o renovada) y caña soca; y serán los siguientes:

6.2.4.1. Fertilizantes

Se estimarán las emisiones totales de óxido nitroso (N₂O) generadas por parte de los fertilizantes que contienen nitrógeno. Las mismas serán reportadas como dióxido de carbono equivalente expresado en toneladas (t CO₂eq). Para la estimación se recolectarán datos de compras de fertilizantes (cantidad de sacos, facturas de compra, inventario), registros de aplicación, fórmulas, dosis aplicadas (kg/ha), época de aplicación, áreas cubiertas (ha) por fórmula aplicada y métodos de aplicación, caracterización fisicoquímica del suelo y condiciones climáticas prevalecientes.

Los DA se recopilarán en visitas mensuales y justo los días siguientes a la aplicación de fertilizantes (lo cual se realiza a la siembra y 1-2 veces caso se fraccione durante el ciclo de crecimiento de la plantación), a la aplicación de agroquímicos destinados al control de malezas (se realiza 2 veces al año). El productor contará con formularios (Cuadros 47, 48, 50, 51 y 52) que podrá utilizar a manera de borrador para registrar la información que posteriormente trasladará al App.

Cuadro 47.

Formulario para la recolección de datos de fertilización en las áreas del PLP de la NAMA Caña de Azúcar en Costa Rica.

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 se calculará contabilizando los componentes nitrogenados de los fertilizantes empleados, el área donde se aplica y utilizando los FE establecidas por el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el CC (IPCC por sus siglas en inglés) o disponibles y generados en el país (IMN 2021).

6.2.4.2. Abonos orgánicos y otras enmiendas orgánicas

Se estimarán las emisiones totales de óxido nitroso (N₂O) y metano (CH₄) generadas por los abonos orgánicos que contienen nitrógeno; las cuales se transformarán a dióxido de carbono equivalente expresado en toneladas (t CO₂ eq) empleado como referente. Para la estimación es necesario recolectar datos de compras de abonos (cantidad de sacos, facturas de compra, inventario), disponer información sobre registros de aplicación, análisis 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 48.

Formulario para la recolección de datos de aplicación de abonos orgánicos en las áreas del PLP 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) | | |

Los datos de emisiones se calcularán a partir de los componentes nitrogenados de los abonos, de los DA y FE establecidas por el IPCC o disponibles y generados en el país (IMN 2021).

Las fórmulas para cuantificar las emisiones de óxido nitroso (N₂O), son las siguientes:

Ecuación 7. Cálculo de las emisiones de N₂O

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

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_{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-N de insumos de N aplicados a suelos manejados

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

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)

Los FE a utilizar son los siguientes:

Cuadro 49.

FE 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).

6.2.4.3. Enmiendas correctivas de acidez

Se estimarán las emisiones totales de dióxido de carbono expresadas en toneladas (t CO₂eq). Para el cálculo se necesitará contar con registros de compras de materiales encalantes (facturas de compra, inventario), registros de aplicación, tipos, 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 50.

Formulario para la recolección de datos de aplicación de enmiendas correctivas de acidez en los suelos de las áreas del PLP 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) | | |

Los datos de emisiones se calcularán a partir de la calidad de los materiales encalantes empleados, en referencia a su contenido de carbonatos, óxidos o hidróxidos que contribuyan con las emisiones de GEI, y mediante la aplicación de los FE vigentes establecidos por el IPCC. En este aspecto es importante contar con el aporte del análisis de laboratorio (químico y granulométrico) de las fuentes de encalado para calcular con mayor precisión el aporte potencial en las emisiones (Chaves 1993).

La fórmula a utilizar para el cálculo de las emisiones 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

Factor de Emisión:

Caliza = 0,12 t CO₂-C t⁻¹

Dolomita = 0,13 t CO₂-C t⁻¹

6.2.4.4. Hidrocarburos

Representa un factor de emisión de GEI muy importante, para su estimación se deberán recolectar los datos de compra de combustibles, tipo y uso de acuerdo con las prácticas particulares de cultivo del momento. Los datos deberán consignarse en litros por hectárea (l/ha) para las prácticas de labores de atención del cultivo y en litros por tonelada (l/t) en las labores de cosecha. La información recolectada deberá permitir y facilitar la estimación de estos índices.

En cuanto a las prácticas agrícolas de preparación del suelo y siembra, la recopilación de DA se realizará durante la misma y hasta que esta finalice. Esta incluye tanto las horas destinadas a cada labor agrícola, área preparada (ha), distancia recorrida (km) y consumo de combustible en cada una de ellas. Con respecto a la siembra, se computará tanto el transporte en horas como en distancia (km); así como el gasto de combustible (l). La compilación de esta información se dará durante esta labor y hasta finalizar la misma.

Con los datos recuperados se generarán valores promedio por hectárea para cada una de las actividades y labores que implique el empleo de equipos que utilicen hidrocarburos fósiles (diésel, gasolina).

Cuadro 51.

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

| 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 | | | | | | | |

Cuadro 52.

Formulario para la recolección de datos de consumo de combustibles fósiles en las labores de cosecha en las áreas del PLP de la NAMA Caña de Azúcar en Costa Rica.

| 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 | | | | | | | |

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 FE a utilizar se toman a partir de los datos propuestos por IMN y son los siguientes:

Cuadro 53.

FE 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).

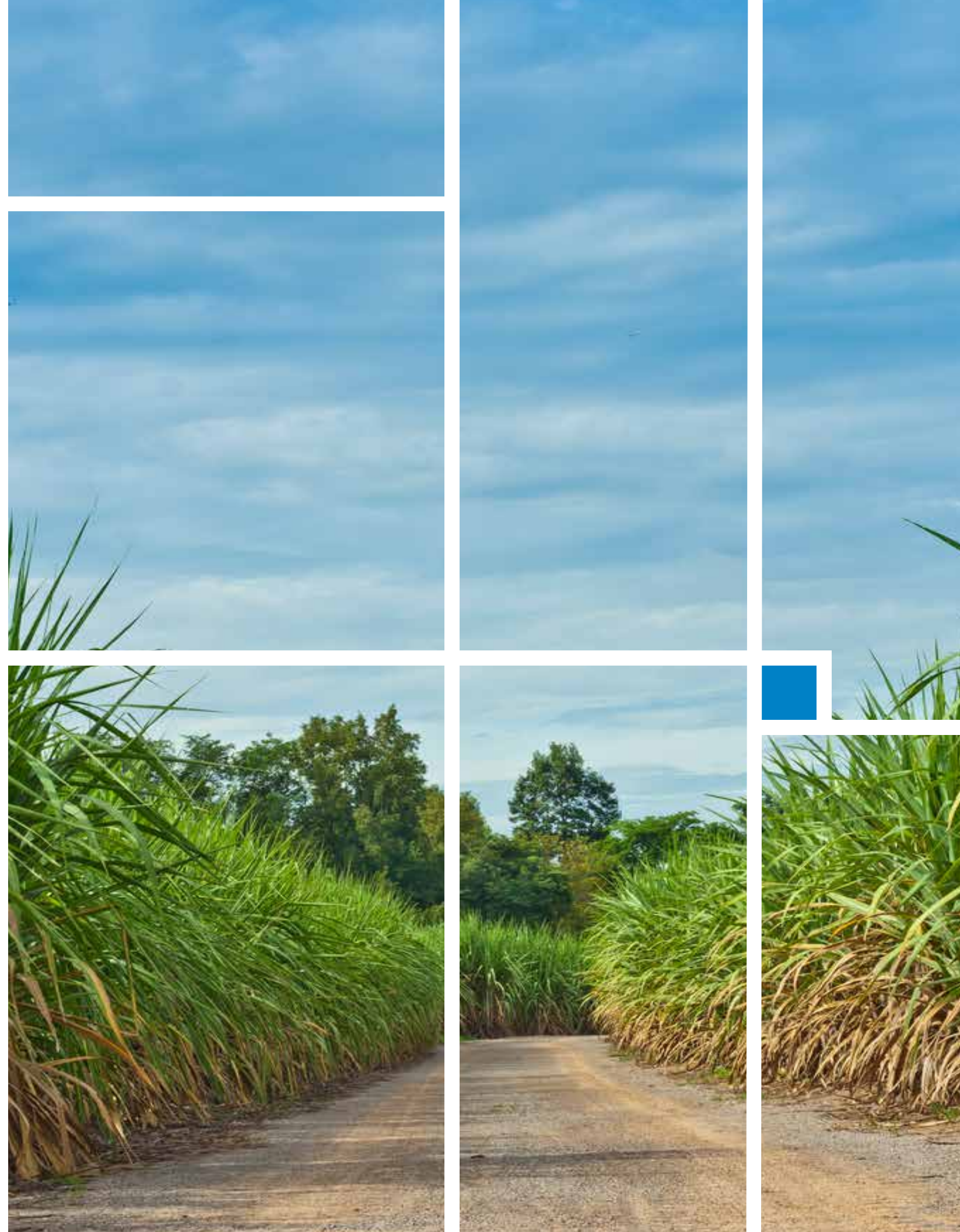
Como parte del MRV se calcula la Eficiencia Productiva Ambiental, donde se utiliza el resultado de los anteriores cálculos de emisiones y remociones en conjunto con los datos de productividad y área sembrada para obtener los indicadores de Uso de nitrógeno, Eficiencia productiva de emisión, Eficiencia de emisión y Eficiencia económica de emisión, tal y como se muestra el Punto 6 del Descriptivo y Operativo del Piloto Nacional.

6.3. Desarrollo del módulo del MRV

Con el desarrollo y operación del proyecto de sostenibilidad “Cultivando Futuro” de la Unión Europea, LAICA generó y se cuenta por ello, con una plataforma digital que permite brindar a los productores de caña de todo el país, una serie de servicios y herramientas importantes y muy utilitarias para apoyar su gestión agrícola operada desde una aplicación celular.

Para este proyecto se va a desarrollar un módulo adicional que se incorporará dentro de la aplicación ya existente. Este módulo tendrá como fin principal la recopilación de información en cada una de las fincas. Crear este nuevo módulo implica que, en el menú principal habrá una opción adicional para ingresar a una pantalla de registro de datos. En la Figura 30 se pueden apreciar los ocho módulos actuales, por lo que, al crear el módulo del MRV se podrá observar una opción adicional, es decir, pasará a tener nueve módulos. La aplicación es una plataforma que logrará tener en el mismo lugar el acceso a nueve sistemas distintos.

Es importante aclarar que las capacitaciones para el uso de los celulares como herramienta tecnológica que se brindaron en el marco del programa Cultivando Futuro, tendrán un impacto positivo en la implementación del MRV, pues la curva de aprendizaje no parte desde cero, ya



que, los productores llevan varios años recibiendo entrenamientos e incentivos para poder hacer uso de la App que abrigará este nuevo Sistema MRV.

LAICA ha estado trabajando fuertemente en cerrar la brecha tecnológica con los productores de caña involucrados, por lo que se considera que ya se tendría adelantado trabajo para tener un punto de captura común en las fincas agrícolas. La brecha a la que se hace referencia es la digital, pues en el año 2019 se detectó que los productores solo utilizaban sus teléfonos para hacer llamadas o enviar mensajes de texto, lo que restaba importante potencial utilitario al mismo.

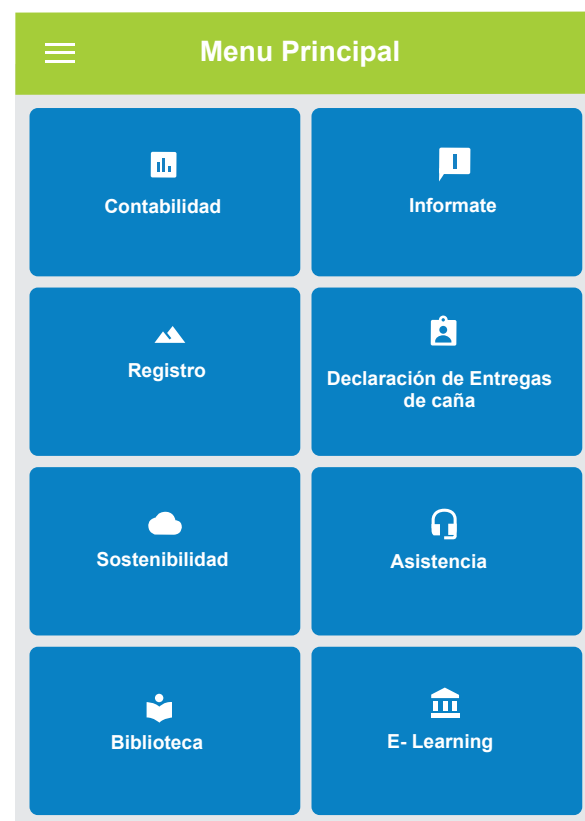


Figura 30.
Módulos de la App “Cultivando Futuro”.

Debido a esto se estableció un programa para cerrar esa brecha tecnológica y que los productores de caña pudieran utilizar no solo herramientas como Cultivando Futuro, sino también Facebook, Instagram, YouTube, etc., para así poder tener canales efectivos que acorten las distancias y hagan que las divulgaciones o envío de información relevante sea más rápida que un "puerta a puerta".

A esta aplicación se le realizarán modificaciones para ampliar y adecuar la cantidad de módulos que tiene disponibles hoy día; motivo por el cual no se partiría de cero y se aprovecharía lo ya realizado y consolidado con otros proyectos internacionales afines. Además, permitirá y dinamizará la facilidad de ingresar datos sin necesidad de contar con una computadora, en espacios abiertos que requieren alta movilidad.

Esta plataforma se debe conectar con un sistema de base de datos, análisis y generación de reportes en donde llegue la información de captura en sitio. Este sistema no está aún diseñado y se debe construir bajo los mismos lenguajes de programación del resto de programas de LAICA, para garantizar la compatibilidad de los datos que ya se tienen y que son generadores de las estadísticas anuales en temas de producción, áreas de cultivo e indicadores de productividad agroindustrial.

Es importante mencionar que este Sistema de MRV será el que alimente al del SINAMECC, por lo que en su diseño se buscará activamente la participación y comunicación continua con este órgano para lograr un proceso de transferencia de datos ágil, transparente y alineado con la plataforma del SINAMECC.



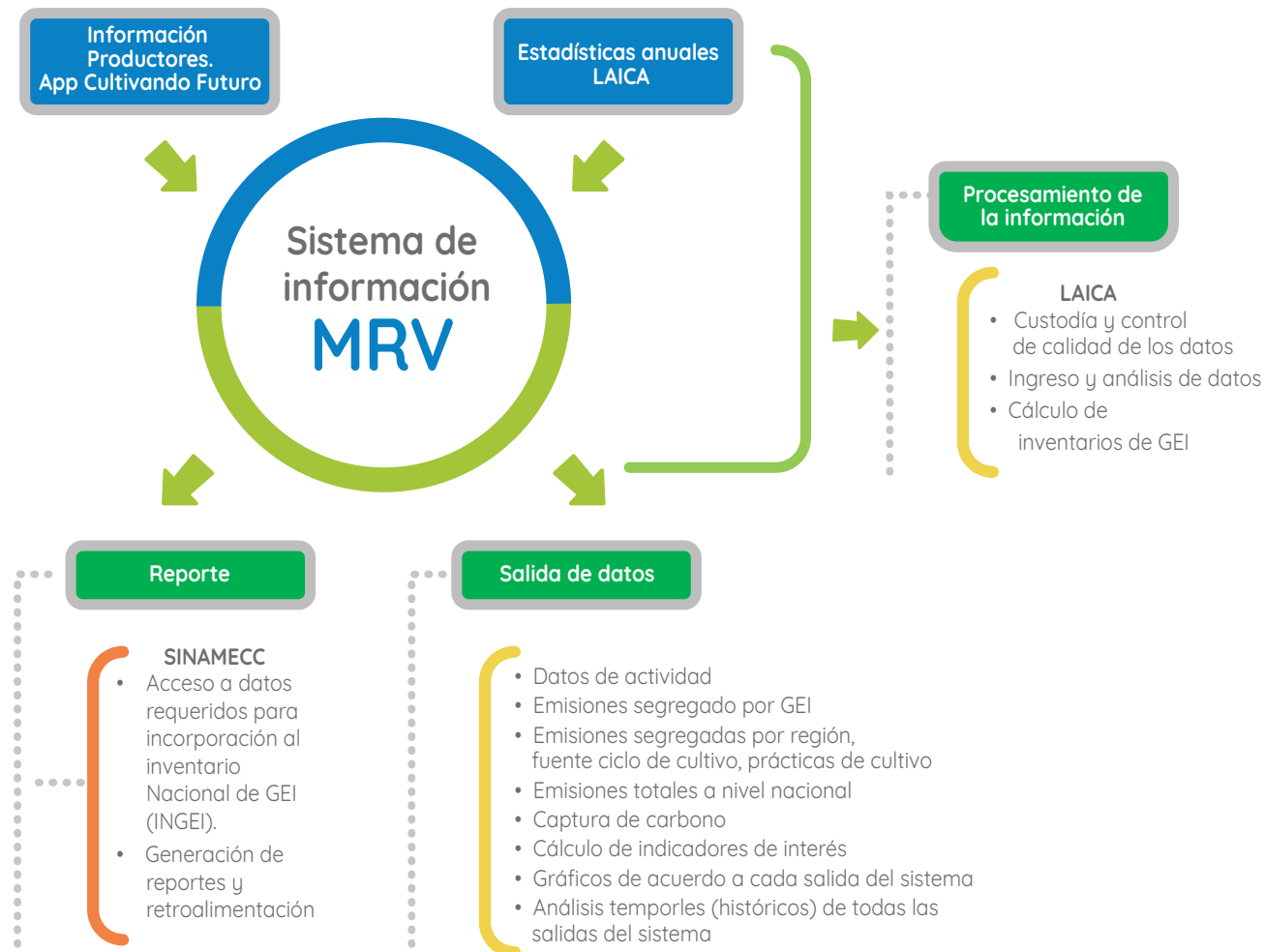


Figura 31.
Estructura general del módulo para el MRV.

6.4. Roles y responsabilidades de las instituciones que conforman el MRV

Debido al papel estratégico y de liderazgo que desempeña LAICA dentro del sector cañero azucarero costarricense, con fundamento en lo que establece la legislación azucarera (LAICA 1998, 2000), la mayoría de los roles y responsabilidades establecidas serán acogidas por la organización a través de DIECA, el DT y demás instancias vinculadas.

Dicho lo anterior, los productores e ingenios serán los encargados de generar y proporcionar la información a través de la herramienta tecnológica que LAICA se encargará de desarrollar, operar y administrar. Mediante esta herramienta se realizará la recopilación y consolidación de la base de datos necesaria; así como la actualización de los inventarios de emisiones generados a nivel regional.

La administración del Sistema MRV y la comunicación a la autoridad rectora correspondiente para el reporte de los inventarios, también serán actividades que estarán a cargo de LAICA. Además, LAICA se encargará de brindar las capacitaciones requeridas para asegurar el correcto uso de la herramienta, dirigida a los productores, técnicos y funcionarios de ingenios de todas las regiones cañeras del país; así como también, de la correspondiente realización de las mejoras y actualizaciones que amerite el Sistema MRV una vez sea utilizado en el PLP de la NAMA Caña de Azúcar.

6.5. Mecanismos de verificación

El Sistema MRV asegurará la calidad de los datos en conjunto con los técnicos ubicadas en cada una de las regiones cañeras; posteriormente será sometido a un segundo control de calidad por parte del coordinador de la NAMA Caña de Azúcar que LAICA designe. Mediante el MRV se podrá acceder a la trazabilidad de los datos proporcionados y un verificador externo será el encargado y responsable de efectuar la verificación de los inventarios de la NAMA. La información se pondrá a disposición del ente verificador de manera expedita, formal y transparente.



7. Zonas productoras de caña de azúcar en Costa Rica

El cultivo de la caña de azúcar tiene la particular capacidad de poder adaptarse y desarrollarse en diferentes entornos agroproductivos, como indica Chaves (2020g, 2021f), sustentada en sus excepcionales atributos, propiedades y características anatómicas, genéticas y fisiológicas. Esto le permite operar en forma extensiva en lo que a área territorial de cultivo ocupada se refiere; y también, de manera muy intensiva desde la perspectiva agroempresarial buscando siempre maximizar la productividad, la rentabilidad y la competitividad comercial. Esta circunstancia favorece la presencia del cultivo en el territorio nacional desarrollándose en diferentes y muy disímiles entornos productivos que intervienen de manera decisiva sobre la eco-eficiencia y la eco-competitividad.

El Cuadro 54 y la Figura 29 ubican y caracterizan las seis regiones geográficas productoras de caña destinada a la producción de azúcar en el país (no al uso pecuario, dulce de tapa, panela u otros fines), desagregadas en sus principales zonas de influencia. Como se infiere las diferencias entre ellas son manifiestas y la distribución territorial muy amplia como expresión de su variabilidad y capacidad de adaptación de la planta, siendo cultivada en 6 provincias, 29 cantones, 109 distritos y en un rango altitudinal que va desde el nivel del mar y hasta los 1.653 msnm. La materia prima es procesada en los 11 Ingenios activos actualmente (Chaves y Chavarría 2021a).

Cuadro 54.

Caracterización geográfica de las regiones y zonas productoras de caña destinada a la fabricación de azúcar en Costa Rica.

| Indicador | Regiones y Zonas Productoras | | | | | | | | | Nacional |
|-----------------------------|--|--|-----------------------------|---------------------------------|----------------------------|----------------------------|-----------------------------|------------------------|------------------------------|----------------------------|
| | Guanacaste | | Pacífico Central | Valle Central | Zona Norte | | Turrialba | | Zona Sur | |
| | Este | Oeste | | | San Carlos | Los Chiles | Zona Media | Juan Viñas | | |
| Provincias Involucradas (6) | Guanacaste | Guanacaste | Puntarenas | Alajuela Heredia San José | Alajuela | Alajuela | Cartago | Cartago | San José Puntarenas | 6 provincias |
| Cantones (N°) | 3 | 4 | 3 | 9 | 1 | 1 | 3 | 1 | 2 | 27 |
| Distritos (N°) | 8 | 13 | 9 | 42 | 9 | 1 | 16 | 1 | 10 | 109 |
| Latitud (Norte) | 10° 11' 16" 10° 31' 40" | 10° 12' 00" 10° 37' 51" | 09° 55' 11" 10° 07' 57" | 10° 02' 30" 10° 05' 47" | 10° 19' 30" 10° 36' 15" | 10° 41' 33" 11° 01' 57" | 09° 48' 49" 09° 58' 35" | 09° 53' 43" | 09° 09' 55" 09° 22' 32" | 11° 01' 57" 09° 09' 55" |
| Longitud (Oeste) | 84° 57' 42" 85° 15' 35" | 85° 26' 22" 85° 38' 56" | 84° 40' 05" 85° 01' 15" | 84° 08' 52" 84° 31' 30" | 84° 20' 32" 84° 38' 51" | 84° 38' 38" 84° 47' 16" | 83° 33' 25" 83° 55' 06" | 83° 44' 53" | 83° 20' 14" 83° 42' 19" | 83° 20' 14" 85° 38' 56" |
| Altitud (msnm) | 7 - 150 | 13 - 366 | 4 - 340 | 200 - 1357 | 65 - 656 | 43 - 44 | 480 - 1.000 | 1.000 - 1.653 | 361 - 865 | 4 - 1.653 |
| N° Ingenios Activos | 1 | 2 | 1 | 2 | 3 | - | - | 1 | 1 | 11 |
| Zonas de Vida Holdridge | Bosque Seco Tropical y Bosque Húmedo Premontano | Bosque Seco Tropical y Bosque Húmedo Premontano | Bosque Húmedo Premontano | Bosque Húmedo Premontano | Bosque Muy Húmedo Tropical | Bosque Tropical Húmedo | Bosque Pluvial Montano Bajo | Bosque Pluvial Montano | Bosque Muy Húmedo Premontano | |

Fuente: : Chaves (2019ag); Chaves y Chavarría (2021a).

Esa amplia distribución territorial favorece e induce la presencia de muchas circunstancias y condiciones algunas veces extremas, que condicionan y tipifican la producción de caña de azúcar, como son: relieve plano-ondulado-quebrado, condiciones secas y muy húmedas, suelos diferentes, manejo mecanizado y manual de plantaciones, fitosanidad variable, ciclos vegetativos de 12 a 24 meses desde siembra hasta cosecha, estructura de tenencia de la tierra diferente con grandes y pequeñas explotaciones como fue demostrado en el Punto 1.2.3, agricultura de ladera, plantaciones en condición de riego y drenaje, gran diversidad genética, maduración diferenciada, áreas con y sin potencial mecanizable, capacidad de inversión diferente en tecnología, incorporación de economías de escala, impactos ambientales variables en frecuencia, magnitud e intensidad, entre muchas otras y manifiestas diferencias (Chaves et al 2018; Chaves 2019abdgh, 2020amns, 2021abf).

7.1. Caracterización edafoclimática

Las condiciones ambientales en las que se desarrolla y opera la agroindustria cañero-azucarera costarricense son muy variables y heterogéneas en todos los ámbitos, tanto en lo concerniente a elementos del clima como a las características fisicoquímicas y biológicas de los suelos, lo cual interviene e incide de manera determinante sobre los sistemas de manejo agronómico y consecuentemente en el resultado productivo agroindustrial final de las plantaciones comerciales.

Como expresó Chaves (2019a), “...la caña de azúcar es una planta muy especial que por naturaleza, anatomía y metabolismo es muy sensible a los cambios e influencia del entorno productivo donde se desarrolla; motivo por el cual, la medición y el diagnóstico de las condiciones prevalecientes en los mismos es siempre muy valiosa para poder prevenir y atenuar posibles impactos negativos, o en su caso, potenciar, inducir e impulsar respuestas muy favorables.” Es por esto necesario ubicar el cultivo en ambientes favorables que minimicen el riesgo de sufrir impactos o pérdida de capacidad productiva por causa del clima.

El Cuadro 55 evidencia y tipifica con buena aproximación la condición promedio de los elementos del clima que más inciden en el desarrollo vegetativo y la maduración natural de las plantaciones comerciales de caña de azúcar, denotando lo siguiente: a) el régimen de humedad (Ústico, Údico, etc.) y la capacidad de agotamiento de la humedad en el suelo es muy variable y fluctuante entre seco y húmedo; b) la cantidad de lluvia (mm) es muy variable entre localidades, expresado como distribución e intensidad; c) en algunas localidades (Guanacaste, Pacífico Central, Valle Central y Zona Sur) se cuenta con periodos secos variables que favorecen la madurez y la cosecha, otras por el contrario son muy húmedas (Zona Norte, Turrialba) con efecto negativo para esas variables; d) las temperaturas máxima-mínima y su promedio varían mucho entre zonas y meses lo que influye en el desarrollo y maduración del cultivo; e) indicadores como brillo y radiación solar, humedad ambiental, viento y evapotranspiración son también geográficamente muy diferentes, f) las características edá-



ficas son extremas lo que define el grado de fertilidad de los suelos y g) la caña de azúcar es en definitiva por naturaleza y fisiología una planta de luz, calor y agua (Chaves 2020g).

El impacto y efecto de esos elementos en el metabolismo de la planta es manifiesto en todos los ámbitos, sobre todo por su carácter poco controlable, lo que determina la fenología, el desarrollo y con ello la expresión satisfactoria del ciclo vegetativo del cultivo en todas sus etapas. No puede ni debe por esta razón generalizarse en esta materia, lo que obliga para efectos de implementar correctamente la NAMA al monitoreo, medición e interpretación permanente de sus variables.

Numerosa y detallada información nacional se dispone en torno a este importante componente agroambiental, que como lo demuestran Chaves *et al* (2018), Chaves y Chavarría (2017ab), Chaves *et al* (2019), y Chaves (2011a, 2017d, 2019abcdefghijklmnpq, 2021abdf), es generador de estados parciales y permanentes de “estrés” en las plantaciones, sea por causa del agua, la temperatura, la luz, el viento, la evapotranspiración, el suelo (acidez, compactación, erosión, degradación), el estado nutricional y hasta el factor genético. Esas grandes y marcadas diferencias influyen, condicionan y determinan en alto grado el comportamiento agronómico y el potencial productivo de las plantaciones.

El tipo de suelo es en definitiva determinante como criterio tipificante para ubicar zonas con potencial para la producción competitiva de caña de azúcar, esto por el carácter extensivo-intensivo del cultivo en las actividades orientadas a maximizar la productividad agroindustrial. De acuerdo con Chaves y Chavarría (2017ab) y Chaves (2017bc, 2019a) las plantaciones comerciales de caña están sembradas en Costa Rica en 9 órdenes y 16 subórdenes diferentes de suelo, de acuerdo con la Taxonomía del Sistema de Clasificación del USDA (USDA 2014).

Cada una de esas categorías marca diferencias importantes y de fondo en materia de características físicas, químicas y microbiológicas de los suelos involucrados, definiendo su grado de fertilidad actual y potencial. Para efectos de la NAMA Caña de Azúcar dichas condiciones son fundamentales por su participación directa en los procesos de mineralización de la materia orgánica, retención de carbono, relación C/N, recarbonización, acción microbiológica y pérdidas de nitrógeno por volatilización, amonificación y nitrificación en el suelo. El Cuadro 56 es amplio en aportar información relevante y tipificante de las características edáficas de cada región y zona productora de caña, entre las que se anotan además las vinculadas con fisiografía, relieve, grado de pendiente, riesgo de sequía/inundación, riego/drenaje, entre otras.

De manera complementaria y considerando la pertinencia y relevancia del tema nutricional en la implementación de la NAMA, se presenta en el Cuadro 57 un detalle aproximado de la condición química de los suelos cultivados con caña de azúcar en Costa Rica.

Cuadro 55.

Caracterización climática de las regiones y zonas productoras de caña destinada a la fabricación de azúcar en Costa Rica.

| Indicador | Regiones y Zonas Productoras | | | | | | | | | Nacional |
|--------------------------------|------------------------------|-------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|------------------------|
| | Guanacaste | | Pacífico Central | Valle Central | Zona Norte | | Turrialba | | Zona Sur | |
| | Este | Oeste | | | San Carlos | Los Chiles | Zona Media | Juan Viñas | | |
| Lluvia (mm) 1/ | | | | | | | | | | |
| Total Anual | 1472,0 | 1682,3 | 11.790,9 | 2.743,5 | 3.004,5 | 1.645,4 | 2.501,6 | 2.544,1 | 2.750,9 | 2.237,2 |
| Amplitud Anual | 910 - 1942 (1.032) | 1151 - 2.420 (1.269) | 1.251 - 2.921 (1.670) | 1.822 - 3.860 (2.038) | 2.318 - 3.570 (1.252) | 633 - 2.820 (2.187) | 1.945 - 3.250 (1.305) | 1.931 - 3.470 (1.539) | 1.842 - 3.662 (1.820) | 633 - 3.860 (3.227) |
| Promedio Mensual | 122,7 | 140,2 | 149,2 | 228,6 | 254,0 | 137,1 | 208,5 | 212,0 | 229,2 | 186,8 |
| Temperaturas (°C) | | | | | | | | | | |
| Máxima | 32,9 (32,6 - 33,3) | 34,0 (33,4 - 35,0) | 31,8 (30 - 35) | 29,9 (28,6 - 32,2) | 32,3 (26,8 - 35,4) | 31,5 (30,3 - 32) | 27,5 (26,1 - 28,5) | 24,5 (24,1 - 24,9) | 33,9 (32,5 - 36,3) | 30,9 (24,1 - 36,3) |
| Media | 28,1 (25,8 - 29,5) | 28,0 (27,4 - 28,7) | 27 (25 - 29) | 21,6 (21 - 22,4) | 26,7 (23,3 - 28,8) | 27,2 (26,2 - 28) | 22,8 (21,4 - 23,7) | 20,1 (19,9 - 20,5) | 25,3 (24,3 - 27,6) | 25,2 (19,9 - 29,5) |
| Mínima | 23,5 (23,3 - 24,5) | 23,4 (22,9 - 23,9) | 21,6 (19 - 24) | 13,8 (9,6 - 16,2) | 21,2 (19,9 - 22,1) | 22,9 (21,9 - 24,2) | 18,1 (16,7 - 19) | 15,8 (15,7 - 16,1) | 19,4 (16,9 - 20,8) | 17,2 (9,6 - 24,8) |
| Diferencial | 9,4 (8,8 - 10,5) | 10,7 (10,1 - 11) | 10,2 (11) | 16,1 (19 - 16) | 11,1 (6,9 - 13,3) | 8,6 (8,4 - 7,8) | 9,4 (9,4 - 9,5) | 8,7 (8,4 - 8,8) | 14,5 (15,6 - 15,5) | 11,4 (6,9 - 16) |
| Brillo Solar (Horas y décimos) | 7,1 (4,8 - 10) | 7,0 (4,3 - 10,2) | 6,7 (5,1 - 9,1) | 6,6 (3,1 - 9,5) | 4,3 (3,2 - 6,0) | 3,9 (1,4 - 6,9) | 4,5 (3,8 - 5,1) | 4,3 (3,6 - 5,9) | 5,3 (3,3 - 8,6) | 5,6 (1,4 - 10,2) |
| Humedad (%) Promedio | 75,7 (52,4 - 95,5) | 74,9 (54,1 - 92,2) | - | 81,2 (71,3 - 87,2) | - | 81,4 (77 - 83) | 84,3 (78 - 86,8) | 77,4 | 88,3 (75 - 93) | 80,5 (52,4 - 95,5) |
| Viento (km/hr) Promedio | 3,0 (1,3 - 5,8) | 8,9 (7,1 - 10,5) | | 2,7 (0,9 - 6,3) | - | 1,2 (0,5 - 3,8) | 1,2 (0,8 - 1,4) | 7,3 (7 - 8,5) | 4,0 (2,8 - 6,6) | 4,0 (0,5 - 10,5) |

Fuente: : Chaves (2019a, 2020cdef, 2021d).

1/ Años evaluados en las variables todos posteriores al 2008. Los valores entre paréntesis () corresponden a valores promedio entre extremos Mínimo - Máximo

Nota: Las series de años valoradas son diferentes entre variables y localidades

Cuadro 56.

Caracterización edáfica y territorial de las regiones y zonas productoras de caña destinada a la fabricación de azúcar en Costa Rica.

| Indicador | Regiones y Zonas Productoras | | | | | |
|--|--|-------|---|---|--|----------------------|
| | Guanacaste | | Pacífico Central | Valle Central | Zona Norte | |
| | Este | Oeste | | | San Carlos | Los Chiles |
| Ordenes Taxonómicos de Suelos Dominantes | Inceptisol (35,0%) Vertisol (31,2%) Mollisol (23,4%) Entisol (8,8%) Ultisol (1,3%) Alfisol (0,3%) | | Inceptisol (79,1%) Entisol (15,8%) Ultisol (5,1%) | Andisol (38,8%) Ultisol (29,1%) Inceptisol (24,2%) Entisol (4,4%) Vertisol (3,5%) | Ultisol (47,3%) Inceptisol (44,6%) Entisol (5,5%) Andisol (2,3%) Histosol (0,3%) | |
| Porcentaje | 100% | | 100% | 100% | 100% | |
| Sub ordenes Taxonómicos de Suelos Dominantes | Ustepts (34,6%) Usterts (31,2%) Ustolls (23,4%) Orthents (7,9%) Ustults (1,3%) | | Usterts (79,1%) Orthents (12,1%) Ustults (4,2%) Aquents (3,7%) Humults (0,9%) | Ustands (34,6%) Ustepts (23,7%) Humults (19,4%) Ustults (9,2%) Orthents (4,4%) | Udults (44,7%) Udepts (34,2%) Aquepts (10,3%) Humults (2,6%) | |
| Porcentaje | 98,40% | | 100% | 91,30% | 96,90% | |
| Relieve | Plano / Casi Plano | | Plano / Casi Plano | Plano / Casi Plano | Ondulación Moderada | Ligeramente Ondulado |
| Grado de Pendiente (%) | 0,3 - 3% | | 1 - 5% | 1 - 6% | 3 - 25% | 2 - 15% |
| Drenaje | Moderadamente Lento | | Moderadamente Lento | Moderadamente Lento | Bueno | Bueno |
| Riesgo de Inundación | Moderado | | Moderado | Severo | Nulo | Moderado |
| Riesgo Sequía | Alto | | Alto | Alto | Medio - Bajo | Medio - Alto |
| Riego | Si | | Si | Si | No | No |

| Indicador | Regiones y Zonas Productoras | | | Nacional |
|--|--|------------|--|---|
| | Turrialba | | Zona Sur | |
| | Zona Media | Juan Viñas | | |
| Ordenes Taxonómicos de Suelos Dominantes | Andisol (53,7%) Inceptisol (31,1%) Ultisol (15,2%) | | Ultisol (95,3%) Entisol (2,8%) Inceptisol (1,9%) | Inceptisol (36,9%) Vertisol (17,6%) Ultisol (17,6%) Mollisol (13,1%) Entisol (7,6%) Andisol (6,9%) |
| Porcentaje | 100% | | 100% | 99,70% |
| Sub ordenes Taxonómicos de Suelos Dominantes | Udands (53,7%) Udepts (31,1%) Humults (15,2%) | | Humults (95,3%) Fluvents (2,8%) Ustepts (1,9%) | Ustepts (27,8%) Usterts (17,6%) Ustolls (13,1%) Humults (9,4%) Udults (6,6%) |
| Porcentaje | 100% | | 100% | 74,50% |
| Relieve | Ondulación Ligera a Moderada | | Ondulación Moderada a Fuerte | Moderadamente ondulado |
| Grado de Pendiente (%) | 3 - 30% | | 5 - 35% | 5 - 20% |
| Drenaje | Bueno | | Moderadamente Excesivo | Moderadamente Excesivo |
| Riesgo de Inundación | Leve | | Nulo | Nulo |
| Riesgo Sequía | Bajo | | Bajo | Medio - Bajo |
| Riego | No | | No | Poco |

Fuente: Chaves (2019a)

Cuadro 57.

Caracterización química aproximada de los suelos cultivados comercialmente con caña de azúcar en Costa Rica.

| Región | No Muestras | pH | cmol (+) / l | | | | | | µg / ml | | | | | |
|------------------------|-------------|-------|--------------|----------|-----|-----|--------|---------|---------|----|-----|-----|-----|------|
| | | | Acidez | CICE | Ca | Mg | K | Σ Bases | P | S | Zn | Cu | Mn | Fe |
| Guanacaste | 159 | 6,4 | 0,16 | 26,81 | 20 | 6 | 0,52 | 26,65 | 17 | 15 | 2 | 9 | 17 | 64 |
| Pacífico Central | 51 | 6 | 0,19 | 14,06 | 9,9 | 4 | 0,38 | 13,87 | 15 | | 2 | 8 | 19 | 59 |
| Zona Norte | 317 | 5,4 | 0,46 | 10,04 | 6 | 3 | 0,83 | 9,58 | 4 | 1 | 5 | 13 | 55 | 91 |
| Valle Central | 118 | 5,3 | 0,59 | 6,28 | 3,9 | 1 | 0,52 | 5,69 | 8 | - | 4 | 16 | 29 | 100 |
| Turrialba - Juan Viñas | 145 | 5,1 | 0,91 | 7,25 | 4,8 | 1 | 0,21 | 6,34 | 6 | - | 4 | 17 | 25 | 100 |
| Zona Sur | 104 | 4,9 | 1,7 | 4,64 | 1,7 | 1 | 0,23 | 2,94 | 5 | 5 | 1 | 9 | 12 | 100 |
| Total / Promedio | 894 | 5,5 | 0,67 | 11,51 | 7,6 | 3 | 0,45 | 10,84 | 9 | 7 | 3 | 12 | 26 | 100 |
| Nivel Crítico 1/ | - | < 5,5 | < 0,50 | 5,01 -25 | < 4 | < 1 | < 0,20 | < 5 | < 10 | - | < 2 | < 2 | < 5 | < 10 |

| Región | % MO | Saturación (%) Acidez | Relación | | | Categoría Fertilidad |
|------------------------|------|-----------------------|----------|------|-------|----------------------|
| | | | Ca/Mg | Ca/K | Mg/K | |
| Guanacaste | 4,6 | 0,61 | 3,2 | 37,7 | 11,7 | Alta |
| Pacífico Central | 2,8 | 3,46 | 2,7 | 26,1 | 9,5 | Alta |
| Zona Norte | 6,6 | 4,58 | 2,2 | 7,2 | 3,2 | Alta |
| Valle Central | - | 9,39 | 3 | 7,5 | 2,5 | Alta |
| Turrialba - Juan Viñas | - | 12,55 | 3,4 | 22,9 | 6,7 | Alta |
| Zona Sur | - | 36,34 | 1,7 | 7,4 | 4,3 | Baja |
| Total / Promedio | 4,7 | 6,54 | - | - | - | Alta |
| Nivel Crítico 1/ | - | < 10 | < 2 | < 5 | < 2,5 | - |

Fuente: Chaves (2017c, 2019a, 2021e); Méndez y Bertsch (2012).

7.2. Desarrollo tecnológico

El desarrollo tecnológico existente y disponible para actuar es importante para asegurar el cumplimiento cabal de las metas y objetivos planteados por la NAMA Caña de Azúcar, para lo cual la agroindustria cuenta con recursos y servicios técnicos generados a partir de la

investigación, innovación y experimentación que le permiten disponer de Tecnologías para el Sector Cañero-Azucarero (TESCA) validadas y ajustadas a las necesidades particulares de cada localidad agrícola.

El componente genético virtud de su incuestionable importancia y trascendencia como factor de la producción ha mantenido siempre especial atención, como lo revela el Cuadro 58 al anotar las cinco principales variedades sembradas comercialmente en cada localidad agrícola; así como otros datos de interés. Es notoria la diversidad de alternativas de cultivo adaptadas a cada condición particular; siendo grato y muy satisfactorio señalar la presencia de clones nacionales sigla LAICA que destacan y adquieren importancia al incrementar sistemáticamente sus áreas de siembra en el entorno nacional.

Cuadro 58.

Caracterización agrícola de las regiones y zonas productoras de caña destinada a la fabricación de azúcar en Costa Rica.

| Indicador | Regiones y Zonas Productoras | | | | | | | | | Nacional |
|--------------------------|------------------------------|-----------------------|--------------------|--------------------|--------------------|----------------------------|-------------------------|------------------------------|----------------------|--------------------|
| | Guanacaste | | Pacífico Central | Valle Central | Zona Norte | | Turrialba | | Zona Sur | |
| | Este | Oeste | | | San Carlos | Los Chiles | Zona Media | Juan Viñas | | |
| Variedades Sembradas | NA 85-1602 (34,5%) CC | CP 72-2086 (33,2%) SP | CP 14-1518 (45,6%) | RB 86-7515 (69,1%) | PR 80-2038 (32,2%) | B 77-95 (41,0%) | B 76-259 (57,3%) | H 77-4643 (45,3%) | LAICA 04-825 (19,0%) | CP 72-2086 (16,2%) |
| Dominantes /1 | 01-1940 (21,1%) CP | 81-3250 (18,9%) | CP 72-2086 (31,0%) | SP 78-4764 (6,1%) | B 77-95 (17,9%) | PR 80-2038 (20,3%) | B 77-95 (20,6%) | LAICA 04-250 (36,4%) (17,8%) | LAICA 05-805 (11,1%) | NA 85-1602 (11,1%) |
| | 72-2086 (8,5) | B 82-333 (10,7%) | NA 85-1602 (7,8%) | B 76-259 (4,9%) | Q 96 (12,0%) | LAICA 01-604 (9,4%) (8,5%) | PINDAR (8,5%) | B 76-259 (4,2%) (11,1%) | LAICA 04-809 (8,4%) | RB 86-7515 (8,4%) |
| | RB 86-7515 (7,9%) | Mex 79-431 (8,9%) | RB 86-7515 (6,2%) | Mex 79-431 (4,9%) | B 76-385 (6,5%) | LAICA 04-809 (6,6%) (3,6%) | B 76-385 (2,7%) (7,4%) | H 74-1715 (2,7%) (7,4%) | RB 99-381 (6,8%) | SP 81-3250 (6,8%) |
| | B 82-333 (6,8%) | LAICA 00-301 (8,7%) | B 82-333 (3,3%) | SP 71-3149 (2,0%) | B 76-259 (5,2%) | B 82-333 (6,5%) (2,5%) | H 77-4643 (2,5%) (2,5%) | H 68-1158 (7,3%) (7,3%) | CP 87-1248 (5,8%) | B 82-333 (5,8%) |
| % Siembra | 78,8% | 80,4% | 93,90% | 87,0% | 73,8 | 83,8% | 92,5% | 91,1% | 62,6% | 48,3% |
| Ciclo Vegetativo (meses) | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12-16 | 12 - 24 | 12 | 12 - 24 |
| Maduración | Buena | Buena | Limitada | Muy Buena | Deficiente | Buena | Muy Buena | Buena | Excelente | Buena |
| % de | 95,2 | 84,8 | 94,0 | 24,9 | 70,3 | - | - | 56,8 | 58,7 | 78,2 |
| Cosecha Mecanizada /2 | | | | | | | | | | |

Fuente: Chaves et al (2020).

1/ Corresponde al Censo de Variedades realizado en el año 2019. Cada variedad indica el % de cultivo en la zona.

2/ Información de LAICA (2022) correspondiente a la zafra 2020-2021.

Señala Chaves (2019a) en torno al tópico genético, que “Un abordaje serio y responsable vinculado con la agricultura de la caña de azúcar, obliga necesariamente conocer y profundizar en el tópico de las variedades cultivadas, virtud de su incuestionable y determinante participación e incidencia en procesos y factores fundamentales de la actividad, como son entre otros: la calidad agroindustrial de la materia prima, la productividad de campo e industrial, los costos relacionados, el grado de adaptabilidad del cultivo a condiciones adversas del entorno, la fitosanidad de las plantaciones, la condición de maduración, la aptitud mecanizable y la duración del ciclo vegetativo y la vida comercial de la plantación; razón por la cual el análisis y la valoración objetiva de este componente, aporta elementos valiosos al diagnóstico del factor tecnológico.”

Para lograr eco-competitividad y ecoeficiencia agroindustrial se cuenta con “paquetes tecnológicos” integrales y específicos que ofrecen opciones en todas las áreas de manejo del cultivo y las plantaciones, como son entre otros: preparación y manejo de suelos, semilla mejorada y semilleros, siembra de plantaciones, corrección de suelos ácidos, nutrición y fertilización óptima, uso de bioinsumos, manejo y control oportuno de malezas, riego y drenaje, control fitosanitario de plagas y enfermedades, control de madurez, cosecha de plantaciones, manejo de retoños y residuos agroindustriales, control ambiental, agricultura de precisión, entre otros.

Lo señalado por Angulo et al (2020) para la región de Guanacaste, Calderón y Chaves (2020) para la Zona de Turrialba-Juan Viñas, Barrantes y Chaves (2020) para la Zona Sur y Chaves y Barquero (2020) para la Región Norte, ratifican la existencia de TESCA para atender las demandas que implica implementar la NAMA Caña de Azúcar.

Como antecedente referencial de gran trascendencia para la NAMA y resultado de la profusa investigación, validación y experimentación desarrollada por muchos años en el país, se presentan en el Cuadro 59 los ámbitos de respuesta obtenidos por región para los principales macronutrientes esenciales (N-P-K-Ca-Mg-S), anotando los ámbitos (mínimo-máximo) de respuesta a su adición al suelo; al igual que lo concerniente a la corrección de suelos ácidos mediante su encalamiento con CaCO₃ (Chaves 2017c, 2021e).

Como se infiere de esa información el grado de la diversidad, variabilidad y heterogeneidad de los entornos y condiciones productivas existente entre zonas agrícolas cañeras en el país es muy amplia en todos los sentidos, obligando a un manejo prudente de las plantaciones en esa misma orientación.

Cuadro 59.

Respuesta de la caña de azúcar a la adición de nutrimentos esenciales aplicados al suelo en Costa Rica, según región productora.

| Región | Ciclo Vegetativo | Superficie de Respuesta (kg/ha) | | | | | t/ha |
|---------------------------|------------------|---------------------------------|-------------------------------|------------------|--------|-----------------|-------------------|
| | | N | P ₂ O ₅ | K ₂ O | MgO | SO ₄ | CaCO ₃ |
| Guanacaste | P | 80 - 150 | 60 - 100 | 80 - 100 | 0 | 80 | 0 |
| | S | 100 - 150 | 50 - 100 | 80 - 140 | 0 | 80 | 0 |
| Pacífico Central | P | 80 - 150 | 60 - 100 | 80 - 100 | 0 | 80 | 0 - 1 |
| | S | 100 - 150 | 50 - 100 | 80 - 140 | 0 | 80 | 0 - 1 |
| Zona Norte | P | 110 - 150 | 120 - 200 | 130 - 180 | 40 | 40 | 0 - 1,5 |
| | S | 120 - 150 | 100 - 150 | 130 - 160 | 40 | 40 | 0 - 1,5 |
| Valle Central | P | 120 - 180 | 130 - 160 | 120 - 160 | 40 | 40 | 0 - 1,5 |
| | S | 130 - 180 | 130 - 160 | 150 - 200 | 40 | 40 | 0 - 1,5 |
| Turrialba - J viñas | P | 120 - 180 | 120 - 200 | 120 - 160 | 40 | 40 | 0 - 1,5 |
| | S | 130 - 180 | 100 - 150 | 150 - 200 | 40 | 40 | 0 - 1,5 |
| Zona Sur | P | 120 - 150 | 150 - 200 | 130 - 180 | 40 | 40 | 1 - 2 |
| | S | 120 - 150 | 180 - 200 | 150 - 180 | 40 | 40 | 1 - 2 |
| Zonas Altas (>1.000 msnm) | P | 140 - 300 | 160 - 200 | 160 - 200 | 60 | 60 | 0,5 - 2 |
| | S | 140 - 300 | 130 - 150 | 160 - 250 | 60 | 60 | 0,5 - 2 |
| Total / | P | 80 - 300 | 60 - 200 | 80 - 200 | 0 - 60 | 40 - 80 | 0 - 2 |
| Promedio | S | 100 - 300 | 50 - 200 | 80 - 250 | 0 - 60 | 40 - 80 | 0 - 2 |

Fuente: Chaves (1999ab; 2017c; 2019a)

P = Ciclo Caña Planta S = Ciclo Caña Soca o Retoño

Puede asegurarse que la experiencia institucional y tecnológica acumulada por la agroindustria es grande y contribuirá significativamente para atender las necesidades establecidas por la NAMA, sobre todo porque el sector cuenta con profesionales calificados y un órgano científico de investigación, transferencia de tecnología y asistencia técnica especializada, como son DIECA y el DT, ambas dependencias con sujeción administrativa y presupuestaria de LAICA. A los mismos se suma la importante capacidad profesional disponible en los ingenios y CPC.



8. Barreras en la implementación de la NAMA

En cualquier iniciativa empresarial orientada al desarrollo y el mejoramiento productivo en el agro, existen lo general limitantes de carácter biótico y abiótico que se constituyen en barreras para el cumplimiento de las metas planteadas.

En este sentido, la implementación de la NAMA Caña de Azúcar de acuerdo con la gestión prevista no es ajena de padecer contratiempos, virtud de la naturaleza extensiva de sus actividades, asociada con la amplitud y heterogeneidad del área implicada atender. Sin embargo, la experiencia acumulada, la sólida organización vigente y el esfuerzo mancomunado e integrado de los diferentes agentes, articulados mediante estrategias implementadas buscarán superar algunas de las barreras existentes.

Con relación a este tópico, la organización cañero-azucarera ha identificado 10 barreras calificadas como principales, esto virtud de su prevalencia y sus implicaciones, mismos que como elementos del entorno agroproductivo inciden en grado variable sobre el éxito empresarial, productivo y tecnológico del emprendimiento comercial vinculado con el cultivo de la caña de azúcar.

En el Cuadro 60 se detallan e individualizan de manera ordenada y sistemática según la cantidad de citas aportada, 10 (20,8%) de los 48 problemas y limitantes más relevantes, sentidos e impactantes mencionados por los productores de caña encuestados en esa ocasión. El resultado de esas opiniones proviene de la consulta realizada entre noviembre y diciembre del año 2018 (zafra 2018/2019) a 365 productores de caña de azúcar provenientes de 6 provincias, 21 cantones y 59 distritos de Costa Rica, lo que les da mucha consistencia y credibilidad a los resultados generados.

Dicha información resulta de gran valor para identificar, ubicar y ponderar con acierto la magnitud e intensidad de los asuntos y demandas más sentidas por el productor de caña costarricense; y que, podrían eventualmente convertirse en barreras para la implementación y éxito de la NAMA Caña de Azúcar. Esas 10 barreras concentran e implican un significativo 65,7% del total (48) de respuestas aportadas, lo que ratifica su impacto y representatividad. Nótese que la mayoría de las limitantes señaladas por los agricultores corresponden a temas asociados con la economía y la institucionalidad del sector y muy poco con tópicos de índole ambiental o tecnológico.

Cuadro 60.

Problemas y limitantes señalados por los productores de caña que constituyen barreras al éxito de la NAMA. Evaluación noviembre - diciembre 2018

| No. | Problema / Limitante | Área Temática | Respuestas (%) |
|---------|---|---------------|----------------|
| 1 | Bajos precios pagados por el azúcar producido | Económica | 19,5 |
| 2 | Altos costos de producción agrícola | Económica | 16,8 |
| 3 | Escasez y limitaciones de mano de obra calificada | Institucional | 6,1 |
| 4 | Problemas asociados con cuota y extracuota de azúcar | Institucional | 6,0 |
| 5 | Altos costos por corta, carga y transporte (CAT) de la caña | Económica | 4,2 |
| 6 | Efectos e impacto por causa del clima | Ambiental | 3,1 |
| 7 | Problemas con la finca y el terreno de cultivo | Varios | 3,0 |
| 8 | Falta financiamiento, crédito, altos intereses, relación con bancos | Económica | 2,7 |
| 9 | Impacto por sequía e inundaciones | Ambiental | 2,2 |
| 10 | Falta semilla de calidad | Tecnológica | 1,9 |
| Total % | | | 65,7 |

Fuente: : Chaves *et al* (2019).

Una valoración más reciente efectuada mediante encuesta realizada en diciembre del 2021 a 150 PI de caña e ingenios de todo el país, con motivo del diseño de la NAMA, reveló resultados muy similares a los anteriores como se muestra en el Cuadro 61, donde los asuntos de corte económico/financiero ocupan el primer lugar.

Cuadro 61.

Problemas y limitantes señalados por los productores de caña que constituyen barreras al éxito de la NAMA. Evaluación diciembre 2021.

| No. | Problema / Limitante | Área Temática | Respuestas (%) |
|---------|--|---------------|----------------|
| 1 | Altos costos de producción | Económica | 28,2 |
| 2 | Extracuota y bajos precios pagados por el azúcar | Económica | 27,8 |
| 3 | Baja disponibilidad y alto costo de mano de obra | Institucional | 9,3 |
| 4 | Ambiental y gestión de riesgo climático | Ambiental | 7,8 |
| 5 | Técnicos y de manejo del cultivo | Tecnológica | 6,5 |
| 6 | Mal manejo y baja calidad de la cosecha | Tecnológica | 4,5 |
| 7 | Altos costos de cosecha | Económica | 4,2 |
| 8 | Crediticios y financieros | Económica | 2,2 |
| 9 | Legales, institucionales y de organización | Institucional | 1,8 |
| 10 | Infraestructura ausente o en mal estado | Institucional | 1,8 |
| Total % | | | 91,1 |

Fuente: Grupo de trabajo (2021).

Como se infiere y concluye del resultado de ambas consultas, dichas barreras pueden concentrarse e integrarse en cinco temas principales, como son:

8.1. Componente financiero y económico

No cabe la menor duda que contar empresarialmente con una situación favorecida y sostenida por el reconocimiento de precios justos pagados por la materia prima y el azúcar producido; complementado con costos bajos que generen una rentabilidad y relación de beneficio final positiva que motive y dinamice la inversión en tecnología productiva, constituye un factor esencial para el cumplimiento cabal de los objetivos planteados por la NAMA Caña de Azúcar.

La implementación e incorporación de estrategias y medidas orientadas a favorecer la mitigación de GEI y promover el incremento de la productividad agroindustrial del cultivo, hacen del recurso financiero un elemento indiscutiblemente esencial para que el productor de caña pueda incorporar las mejoras y recomendaciones sugeridas y necesarias. Es sin embargo por antecedente conocido, que la realidad económica del agricultor cañero, muy particularmente del pequeño que carece de economías de escala y solvencia financiera, limita

poder acceder a mejoras tecnológicas importantes e impactantes en su plantación. Resulta imperativo por ello, que sectorialmente se atienda de manera prioritaria con visión de corto plazo, la promoción y el acceso a recursos crediticios favorables que permitan la incorporación de TESCA, orientada a reducir la emisión de GEI e incrementar adicionalmente los niveles de productividad agroindustrial actuales, contribuyendo con ello ostensiblemente a lograr una mayor rentabilidad final de la agroempresa cañera. La atención y solución oportuna y efectiva del tema financiero y crediticio resultan insoslayablemente determinantes para el éxito de la NAMA.

8.1.1. Situación actual del crédito

Pese a ser un factor determinante e incuestionable en cualquier iniciativa o emprendimiento competitivo de carácter empresarial cañero, el crédito de origen bancario ha sido por tradición un componente al que relativamente pocos productores atienden y acceden, motivados por varias razones que pueden calificarse como limitantes inhibitorias de esa intención. Las razones son varias y conocidas, como son entre otras las siguientes:

- Ausencia de programas institucionales específicos permanentes para el sector cañero, particularmente para el segmento de pequeños agricultores
- Desinterés de las instituciones del SBN de generar condiciones especiales para el agro
- Temor al endeudamiento
- Tipo de garantías solicitadas
- Tasas de interés establecidas
- Plazos vigentes
- Capacidad de pago limitada
- Incertidumbre en las expectativas comerciales del cultivo (precios, costos, rentabilidad)
- Carencia de título de propiedad
- Contar con otras opciones para resolver sus necesidades
- Razones familiares (edad, proyectos futuros, herencia, etc.)

Cabe señalar que actualmente y luego de una amplia búsqueda de recursos crediticios ofertados en condiciones favorables para los agricultores de caña realizado por FEDECAÑA, se cuenta actualmente con una línea de crédito particular con el BAC Crédito que ofrece condiciones bastante atractivas para quienes tengan interés y condiciones de accederlos, lo que resuelve parcialmente el estado de necesidad vigente. El BNCR es también por antecedente la fuente de crédito más utilizada.

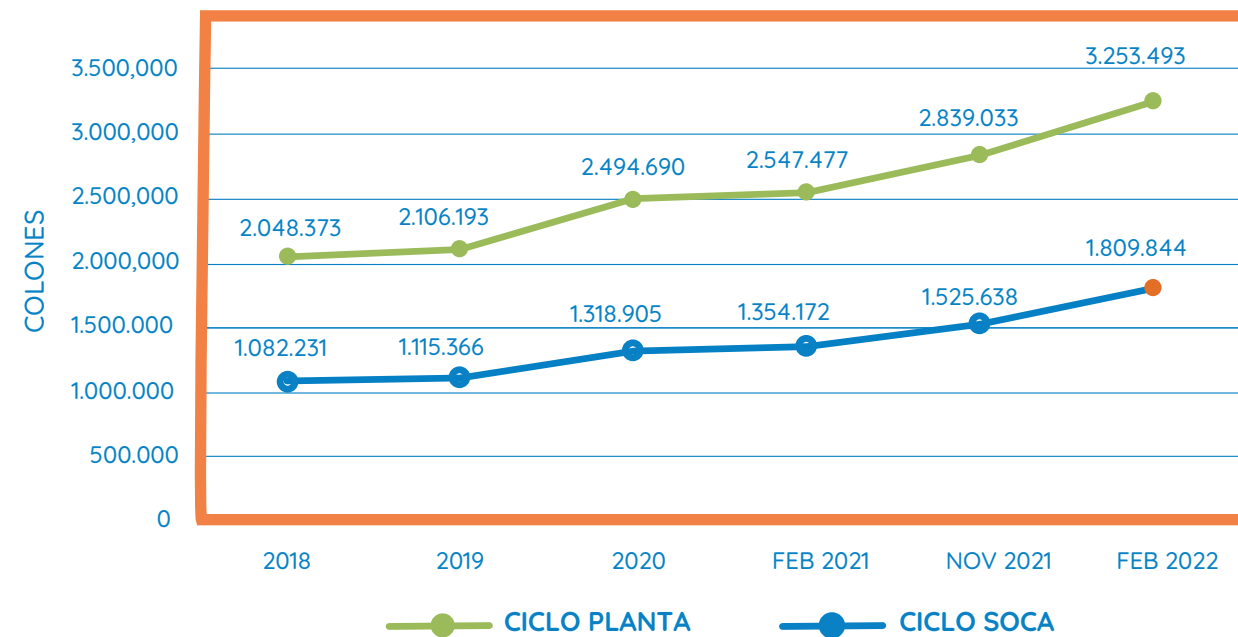
Es importante sin embargo mencionar que muchas veces las necesidades de recursos para invertir en tecnología productiva en el caso de la caña de azúcar, se resuelve por medio del apoyo directo que en insumos y servicios técnicos ofrecen los ingenios a sus entregadores de materia prima; lo cual se realiza mediante la asignación de semilla, la prestación de servicios de preparación de suelos, siembra, manejo y cosecha de las plantaciones. Dichos costos son luego deducidos y recuperados por retención en la fuente (ingenio) al momento de liquidar el monto correspondiente a las entregas de materia prima producida para su procesamiento. Este sistema es habitual y opera históricamente de esa forma, sin necesidad de incurrir en onerosos y desgastantes trámites bancarios y legales; lo cual, sin lugar a dudas ha venido a solventar la necesidad de recursos de inversión para mejorar plantaciones comerciales. La organización ofrece esa ventaja.

8.1.2. Propuesta de financiamiento para la siembra, renovación y asistencia de cañales mediante recursos del Sistema de Banca para el Desarrollo (SBD).

Con el objeto de alcanzar una rentabilidad aceptable en el cultivo de la caña de azúcar, es necesario invertir en una buena preparación del terreno, en la adquisición de semilla de alta calidad y contar con una variedad altamente productiva, resiliente y adaptada a las condiciones de la región y entorno particular. Asimismo, en la aplicación del fertilizante requerido según el estado nutricional del suelo, como también en el uso de herbicidas para prevenir que las malezas compitan con el cultivo; así como en una serie de prácticas agronómicas que, al momento de la cosecha, permitirán alcanzar un buen tonelaje, una alta concentración de sacarosa y una buena producción de azúcar por tonelada de caña molida.

De acuerdo con las estimaciones que DIECA realiza todos los años entre los meses de enero y febrero (avíos bancarios), el costo promedio nacional actual para renovar, dar mantenimiento y cosechar una hectárea de caña de azúcar (ciclo planta) es de ₡3.253.493 (US\$5.061), mientras que el costo promedio para el mantenimiento y cosecha de los ciclos posteriores (ciclo soca), es de ₡1.760.900 (US\$2.739).

La Figura 32 muestra que el costo de producción en ciclo planta y soca, han venido incrementándose fuertemente desde el año 2018, pero, sobre todo, a partir del año 2020 a raíz del incremento acontecido en el precio de los fertilizantes nitrogenados, como consecuencia a los altos costos de la energía requerida para producirlos y la escasez de materia prima proveniente de Rusia, China y Bielorrusia, principalmente; como es el caso del cloruro de potasio (KCl) y del fósforo (P). Si bien, el precio de la libra de azúcar ha tendido al alza desde los ₡36 en abril del año 2021 a los ₡42 en abril del presente año, esto no cubre el fuerte aumento observado en los costos de producción, ahora agravados por la depreciación del colón frente al dólar y los constantes y significativos aumentos acontecidos en el precio de los combustibles.



Fuente: Costos de producción de caña. DIECA, febrero 2022.

Figura 32.

Variación promedio nacional en el costo de siembra, manejo y asistencia de una hectárea de caña e azúcar en ciclo planta y ciclo soca (retoños). Período 2018-2022.

Ante tal coyuntura y a efecto de maximizar el potencial productivo del cultivo y buscando ser rentables, los productores deben de optar por créditos bancarios con buenas condiciones, tanto en plazos de cancelación y períodos de gracia, como en porcentajes de interés y tipo de garantías que se solicitan.

El objetivo principal del programa de financiamiento para siembra, renovación y mantenimiento de cañales mediante fondos del SBD, está orientado a aumentar la productividad en términos de toneladas métricas de caña (número de tallos industrializables/ha) y kilogramos de azúcar por tonelada (concentración de sacarosa), para aumentar la rentabilidad final; pero además, para mejorar la competitividad de la actividad de cara a la amenaza que significa el ingreso de azúcar proveniente de Brasil, principalmente, que previo al establecimiento de la Salvaguarda actualmente vigente, desplazaba la producción nacional en un área equivalente a las 6.674 ha.

8.1.3. Especificaciones del Programa

- **Sujetos de crédito:** productores de caña de azúcar inscritos ante el Registro Público de productores e ingenios de LAICA.
- **Perfil del beneficiario:** personas físicas o jurídicas dedicadas al cultivo de caña destinada a la fabricación de azúcar en Costa Rica, debidamente inscritos como productores de caña en el Registro Público de productores e ingenios de LAICA; acorde con la clasificación establecida para los sujetos beneficiarios descritos en la Ley 9274 y su Reglamento.
- **Requisitos:** son establecidos por el Fondo Nacional para el Desarrollo (FONADE), o por el operador financiero acreditado y regulado por la Superintendencia General de Entidades Financieras (SUGEF) para canalizar los recursos, en concordancia con lo estipulado en el Reglamento sobre Gestión y Evaluación del Riesgo de Crédito para el SBD. Los operadores deberán velar por el cumplimiento del artículo 3 de la Ley 9274 del 12 de noviembre del 2014.
- **Uso final de los recursos:** los fondos se utilizarán para la asistencia de plantaciones, siembra de nuevas áreas o para la renovación de áreas sembradas con caña de azúcar. Se excluye del programa la cancelación de pasivos de cualquier índole, obligaciones con la CCSS y la adquisición de terrenos.
- **Moneda:** colones.
- **Plazo del crédito:** para la asistencia de plantaciones será de hasta 26 meses; para la siembra o renovación será de 48 meses.
- **Período de gracia:** previo a un análisis de crédito y a una justificación técnica debidamente fundamentada y justificada, será de hasta 14 meses para asistencia, y de hasta 26 meses para siembra y renovación.
- **Tasas activas de interés y comisiones:** las tasas serán conforme a las establecidas en el Acuerdo AG-1463-182-216 y sus modificaciones, correspondientes a los fondos del SBD.
- **Garantías:** al operador financiero serán acordadas al momento de la aprobación de la línea de crédito y suscripción del contrato de administración de recursos; al Beneficiario, serán las establecidas por el operador financiero al momento de la aprobación del crédito, pudiendo incorporar garantías mobiliarias.

- **Porcentaje del financiamiento:** hasta un 100% del costo del establecimiento y mantenimiento por hectárea según el monto del avío por zona agroindustrial publicado por DIECA en el mes de marzo de cada año.
- **Monto máximo:** será definido por el monto del avío para cada zona agroindustrial. El monto del crédito deberá ajustarse a las disposiciones establecidas en el Acuerdo AG-1426-180—2016 y sus modificaciones; el cual estará acorde con el plan de inversión sujeto a un análisis técnico-financiero de viabilidad de este.
- **Capacidad de pago:** El operador financiero deberá demostrar la capacidad de pago previo al análisis del flujo de caja del beneficiario, lo cual se deberá verificar en las inspecciones de campo que se realicen. Si el flujo de caja fue elaborado por un contador público o privado, el mismo deberá ser revisado y aprobado por un ejecutivo de crédito del operador financiero.
- **Pólizas:** para créditos con garantía real, se deberá contar con las respectivas pólizas de seguro que contengan las coberturas de acuerdo con la naturaleza de los bienes garantes y por los montos establecidos según los avalúos correspondientes (en caso de garantías hipotecarias, prendarias o fideicomisos). Se podrán incluir dentro del crédito, los montos correspondientes a las primas por seguros agropecuarios. Independientemente del tipo de garantía, todo financiamiento deberá contar con una póliza de vida que cubra el saldo adeudado en caso de fallecimiento del deudor.
- **Entrega del crédito:** los recursos podrán ser girados directamente a casas comerciales, Cámaras de Productores de Caña, cooperativas o ingenios a quienes el productor haya comprado bienes o servicios.
- **Forma de pago:** para asistencia de cañales, se realizará la cancelación total de intereses y principal al vencimiento. No obstante, se aplicarán pagos parciales anticipados proporcionales deduciendo la cuota respectiva de cada adelanto, ajuste o liquidación del azúcar y la miel. A esto se le conoce como “retención en fuente” que es un mecanismo en el cual el beneficiario del crédito autoriza al ingenio respectivo a retener los dineros a su cargo y usarlo para la cancelación de las cuotas comprometidas. Para siembra y renovación de plantaciones, la cancelación de intereses y principal se realizará anualmente; no obstante, se podrá aplicar la retención en fuente para pagos anticipados.

8.1.3.1. Participación de DIECA

El programa de financiamiento será acompañado desde el punto de vista técnico por especialistas de DIECA quienes proporcionarán a los beneficiarios la asistencia técnica especializada permanente y gratuita; la recomendación de labores, prácticas e insumos en los momentos fenológicamente más convenientes; el manejo de plantaciones con base en resultados de investigaciones y experiencias comerciales positivas; en el control y fiscalización de los giros económicos bancarios en los momentos más oportunos; y el control de la aplicación del uso del recurso económico al destino previsto.

8.2. Disponibilidad de mano de obra

La indisponibilidad de mano de obra calificada y costo efectiva es grave en el país, sobre todo en zonas agrícolas próximas a urbanas; lo que coloca al productor de caña en una situación muy difícil por el condicionamiento económico (tarifas) y tecnológico (obligan quemar para cosechar) para las prácticas de manejo y cosecha de plantaciones. Es imperativo optimizar y hacer más eficientes los sistemas de producción, en particular la mecanización de labores y la cosecha. El acceso a equipos mecánicos de corta de materia prima acordes a las necesidades particulares y especiales de la pequeña plantación (relieve, espacio de giro, peso, potencia, distancia, etc.) viene a solventar parcialmente esta barrera, lo que contribuye además con los objetivos NAMA al cortar las plantaciones en verde e incorporar y compostear la biomasa remanente en el suelo mejorando su fertilidad y recarbonizando el mismo. El sector debe adecuar el sistema de cosecha con la asistencia de los ingenios.

8.3. Afectación por clima

La amplitud del área sembrada con caña de azúcar en el país, estimada actualmente en 60.668 hectáreas distribuidas por todo el territorio nacional, de acuerdo con Chaves y Chavarría (2021a) en 6 provincias, 27 cantones y cerca de 109 distritos, tornan la actividad productiva primaria en altamente sensible a sufrir los embates provocados por el clima en sus diferentes manifestaciones, como lo han señalado Chaves *et al* (2018) y Chaves (2019agh, 2020abqs). Considerando que un 20% del área sembrada con caña está en condiciones vulnerables y con alta probabilidad de padecer inundaciones (como lo ilustra la Figura 34), estas áreas son susceptibles de verse severamente afectadas durante situaciones de lluvia extrema (Chaves 2011a). En contraste la Figura 35 muestra que aproximadamente el 60% de las áreas cultivadas con caña están situadas en zonas en las que predominan condiciones de poca o ninguna precipitación por periodos continuos de 4 a 5 meses; irónicamente estas zonas se encuentran en localidades que también las exponen a riesgo de inundación en casos de acontecer eventos de lluvia extrema por ser zonas bajas.

Adicionalmente, las plantaciones de caña están expuestas a condiciones de alta ventosidad, alta nubosidad y poca luz, altas y bajas temperaturas, alta evapotranspiración, entre otros, que afectan el metabolismo, la fitosanidad y la estabilidad de las plantaciones comerciales (Chaves 2011a, 2019abcdefgh; 2020abcdefghijklmno; 2021bcdfg; 2022bf). Muchos de esos casos son atendidos con fundamento en lo que establece la legislación azucarera (Ley N°7818) desde el año 1998 bajo la figura jurídica de Casos Fortuitos y Fuerza Mayor (LAICA 2018, 2000). Es importante tener muy presente y considerar esta importante restricción de presencia común en los diferentes ambientes y entornos donde se siembra y produce caña destinada a la fabricación de azúcar en el país (Cuadro 62, Figuras 33 y 34). La NAMA contribuye ostensiblemente con la adecuación, articulación y optimización de las prácticas, labores y actividades de campo evitando pérdidas innecesarias y emisiones de GEI.

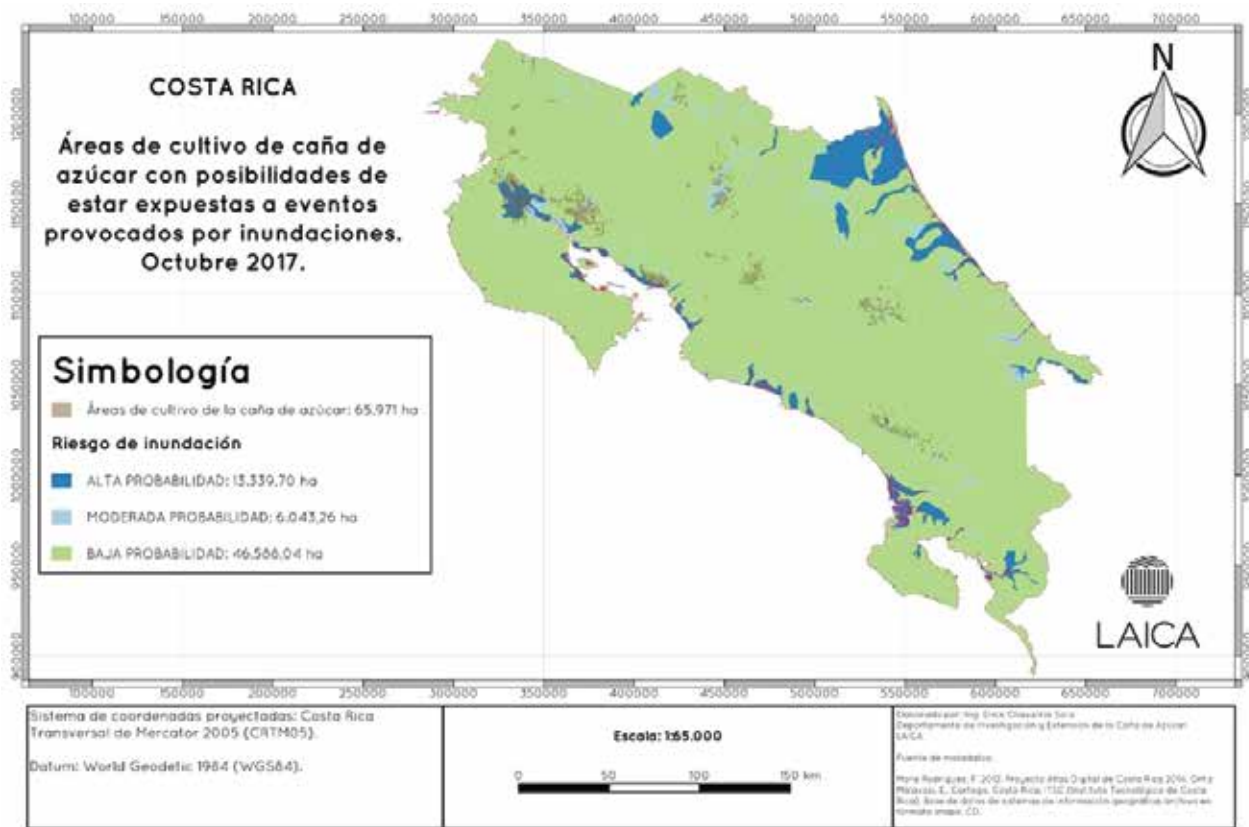


Figura 33.

Distribución de las áreas de cultivo de caña de azúcar en relación con las zonas con riesgo a inundaciones o acúmulos prolongados de agua.

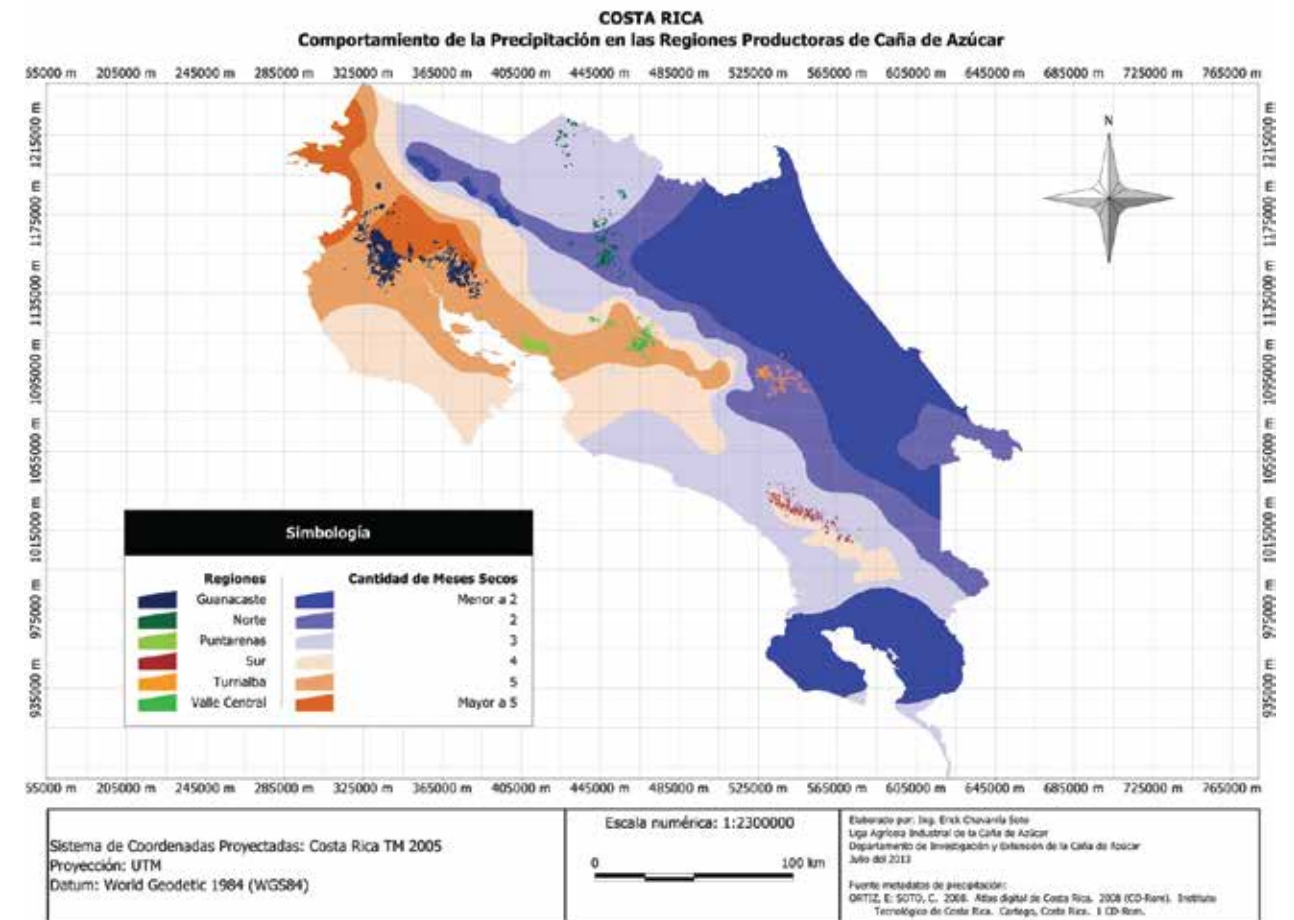


Figura 34.

Distribución de las áreas de cultivo de caña de azúcar con relación a las zonas con riesgo a inundaciones o acúmulos prolongados de agua

Cuadro 62.

Principales eventos climáticos a los que ha estado expuesto el sector azucarero de Costa Rica en el periodo comprendido entre 2014 y 2021.

| Año/Mes | Región Cañera | Razón de afectación | Decreto Emergencia No. |
|----------------|---------------|--|--|
| 2014 | Guanacaste | El 50,2% del área de caña de Guanacaste tuvo una afectación superior al 20% en producción. | Decreto Ejecutivo N° 38642-MP-MAG del 30 de septiembre del 2014. |
| Junio 2015 | Turrialba | Declaratoria de estado de emergencia nacional a partir de las condiciones provocadas por la lluvia en todos los cantones de la provincia de Limón y los cantones de Turrialba y Sarapiquí. | Decreto Ejecutivo N° 39056-MP del 30 de junio del 2015. |
| Diciembre 2015 | Varias | Declaratoria estado de emergencia la situación generada por la sequía que afecta cantones de provincia de Guanacaste, cantones de Aguirre, Garabito, Montes de Oro, Esparza y Cantón Central de provincia de Puntarenas. | Decreto Ejecutivo 39530-MP-MAG del 11 de diciembre del 2015. |
| 2016 | Norte | Huracán Otto: 32% del área afectada en la región Norte por volcamiento y acúmulo de agua en los terrenos. | Decreto Ejecutivo N° 40027-MP del 28 de noviembre del 2016. |
| 2017 | Varias | Tormenta Nate: 68% del área afectada en Guanacaste; 37% en Puntarenas; 1% en Valle Central y región Sur. | Decreto Ejecutivo N° 40677-MP del 5 de octubre del 2017. Ampliación Decreto Ejecutivo |
| 2019 | Varias | Efectos de la sequía: 6,7% en Guanacaste; 3% en Puntarenas y 6,5% en la región Norte. | N°38642-MP-MAG el 10 de octubre del 2014. |

8.4. Cosecha

Como culminación de todo el esfuerzo incorporado en el proceso de producción, esta fase final del cultivo resulta de particular relevancia intervenir, pues los agricultores están sujetos y dependientes de lo que el sistema vigente y las capacidades disponibles le permitan actuar. Razones ligadas a dimensión del área intervenida (hectáreas), época de corta, disponibilidad de mano de obra, calidad de cosecha, capacidad de transporte, distancia (km) al punto de entrega y recibo de la materia prima, condición climática prevaleciente, infraestructura vial, entre otros; provocan que muchas veces el esfuerzo y recursos incorporados durante el ciclo vegetativo se vean truncados en esta etapa. Es necesario revisar, mejorar y adecuar los sistemas de cosecha regionales y locales existentes para que la materia prima se corte en su punto de máxima concentración de sacarosa, llegue fresca a molienda, el corte (alto-bajo) sea además el recomendado y ejecutado bajo las condiciones técnicas apropiadas. Debe evitarse el transporte y la movilización en unidades pequeñas por largas distancias que eleven el gasto de combustible y la emisión de GEI. No intervenir esta barrera atenta contra la rentabilidad, la calidad de la materia prima procesada, el ambiente y la sostenibilidad del sistema. Con la NAMA Caña de Azúcar se busca incorporar cambios al sistema operativo actual.

8.5. Barreras para la adopción de tecnologías NAMA

La difícil situación económica prevaleciente actualmente inducida por bajos precios y altos costos conduce inexorablemente en muchos casos a un manejo tecnológico insuficiente y desequilibrado de las plantaciones, donde hay poca renovación de plantaciones agotadas, uso de semilla de muy baja calidad y pureza genética, baja y/o deficiente corrección de suelos ácidos, uso de variedades inapropiadas, afectación por plagas y enfermedades, empleo excesivo y hasta desproporcionado de algunos insumos y agroquímicos, particularmente fertilizantes nitrogenados buscando erróneamente con la incorporación de un solo factor producir mucha biomasa (materia prima), lo que no es pragmáticamente sostenible en el tiempo.

La NAMA viene a buscar y favorecer los balances y la sostenibilidad productiva mediante la integración, articulación y optimización de los factores de la producción controlables implicados. No puede desconocerse ni omitirse que la implementación de la NAMA además de contribuir al ambiente y al CC; aporta de manera sustantiva al incremento sostenible de la productividad agroindustrial expresada en más caña y más azúcar. La barrera pasa no apenas por la ausencia de tecnología sino principalmente por el desequilibrio de los factores implementados, lo que debe atenderse en la forma, momento y con la prioridad requerida.

Cuadro 63.

Barreras y mecanismos de remoción asociadas a la NAMA.

| Tecnología | Barreras asociadas | Acción estratégica | Mecanismos |
|---|---|---|---|
| Uso semilla de alta calidad | Disponibilidad de terrenos y recursos idóneos (riego); costo de implementación de programas de producción de semilla; certificación de calidad de la semilla. | Organización regional para la gestión de programas de producción de semilla. Colaboración financiera para el establecimiento de programas regionales y operación de sistemas de fondos revolutivos. Acompañamiento técnico en los procesos de producción para la implementación de sistemas de control y certificación de la calidad. | 1. Organización gremial 2. Apoyo financiero 3. Autogestión 4. Capacitación 5. Técnico 6. Inducción |
| Renovación de plantaciones | Alto costo de renovación; disponibilidad oportuna de semilla y de las variedades requeridas (resilientes). | Organización para la gestión de programas de producción de semilla regionales que aseguren la disponibilidad de las variedades requeridas en cada una de las localidades asegurando la calidad de la semilla. Colaboración financiera para la renovación de plantaciones. | 1. Organización gremial 2. Innovación 3. Financiero 4. Inducción 5. Capacitación |
| Manejo adecuado de la nutrición del cultivo y la acidez de los suelos | Costo de los fertilizantes y disponibilidad comercial de fórmulas balanceadas para el cultivo. Uso excesivo de fuentes altas en nitrógeno como estímulo para la producción de biomasa. Uso de correctivos de acidez sin implementación de criterios técnicos basados en análisis de suelos y de la calidad técnica (PRNT) de las enmiendas disponibles. | Intensificar la labor de educación del productor en la adecuada y oportuna toma de decisiones en la escogencia de las fórmulas de fertilizantes y estimación de dosis con criterios técnicos. Adicionalmente realizar las mismas acciones orientadas en el uso de enmiendas al suelo con base en necesidad real estimada mediante criterios técnicos. | 1. Técnico 2. Capacitación y transferencia |
| Fertirriego | Fuentes de agua y costos de los sistemas. | Ampliación de la disponibilidad de agua mediante infraestructura de distribución en las zonas necesitadas. Identificar fuentes de financiamiento accesibles y sostenibles. | 1. Financiero 2. Técnico 3. Capacitación y transferencia |

| Tecnología | Barreras asociadas | Acción estratégica | Mecanismos |
|--|---|---|---|
| Cosecha manual | Alto costo, eficiencia limitada, escasa disponibilidad de mano de obra. | Implementación de sistemas mecanizados o semimecanizados de cosecha. La fase de corta es una de las más afectadas. | 1. Organización 2. Innovación 3. Financiero 4. Técnico 5. Capacitación, información y transferencia |
| Cosecha mecanizada | Disponibilidad de equipos adaptados a las características de las regiones productoras, a la estructura de tenencia de la tierra y a las unidades productivas. | Adaptación de equipos actuales, diseño de equipo mejor adaptados a las condiciones de las regiones, redistribución territorial de la producción de caña de azúcar en el país. | 1. Organización gremial 2. Innovación 3. Financiero 4. Técnico 5. Capacitación, información y transferencia |
| Renovación de la flota de maquinaria agrícola por equipos apropiados y más eficientes. | Alto costo de la maquinaria agrícola. | Créditos favorables, proveeduría común de servicios de mecanización y transporte. | 1. Organización gremial 2. Financiero |
| Uso de fertilizantes nitrogenados acondicionados de lenta liberación, inhibidores y estabilizados. | Disponibilidad de las fuentes apropiadas. | Identificación de insumos y oferentes apropiados, buscar proveeduría común sectorial. | 1. Desarrollo 2. Innovación 3. Capacitación, información y transferencia 4. Organización gremial 5. Autogestión 6. Financiero 7. Técnico |
| Producción de gas licuado a partir de residuos de cosecha | Tecnología de punta de elevada inversión inicial. | Créditos favorables a largo plazo. | 1. Financiero 2. Tecnológico 3. Infraestructura |
| Aprovechamiento de microorganismos para mejorar los suelos | Implementación y escalamiento. | Establecimiento de laboratorios de producción de microorganismos en las diferentes regiones. | 1. Innovación 2. Organización gremial 3. Financiamiento 4. Capacitación y transferencia 5. Tecnológico 6. Infraestructura 7. Equipamiento |



9. Proceso de implementación de la NAMA

Hechas las proyecciones, definidos los escenarios de mitigación, diseñada y concertada la gobernanza del sistema y ubicadas las áreas y factores potenciales de gestión técnica donde debe actuarse, procede gestionar sobre la fase de implementación y escalamiento de la NAMA Caña de Azúcar. La operación de la estrategia ambiental se plantea desarrollar en dos fases principales:

- Fase de implementación de un PLP
- Fase de implementación nacional mediante etapas sucesivas de crecimiento mediante un Plan de Escalamiento (PE)

La primera fase de pilotaje tiene por objetivo validar en el campo la efectividad de las estrategias y tecnologías, destinadas a mitigar los GEI y adaptación al cambio climático, adicionalmente contribuir al incremento de la productividad agroindustrial del cultivo; por lo que durante toda esta fase se establecerá un mecanismo de acompañamiento de manera que los técnicos regionales estarán presentes durante todo el plan de pilotaje brindando seguimiento de las actividades, verificando la correcta adopción de recomendaciones, recopilando y validando la información generada (MRV). De igual forma, esta fase cumple como objetivo dar a conocer el sistema (ventajas-beneficios) a los productores para favorecer su adopción mediante actividades de capacitación y transferencia en la que los productores interactuarán con técnicos y otros miembros del pilotaje para el intercambio de ideas, experiencias y retroalimentación de la Fase de Pilotaje. Para ello se establecerán unidades de comprobación en fincas representativas (FP) pertenecientes a ingenios y productores seleccionados estratégicamente en toda el área cañera nacional.

La segunda Fase de Escalamiento procederá a implementar de manera creciente en el área cañera nacional establecida como meta aspiracional, correspondiente al 75% de la misma (45.501 hectáreas), las acciones de mitigación y mejora agroproductiva (TESCA) propuestas desarrollar. Esta etapa se compone de tres fases sucesivas de escalamiento en el tiempo.

En el Cuadro 64 y la Figura 35 se expone 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 con posibilidades de incrementarse. Hay que indicar que la operación del PE inicia en el año 2023 de contar con los recursos y las condiciones necesarias; circunstancia por la cual el año 2022 será una etapa de organización, planificación, preparación y divulgación.

Cuadro 64.

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 |

Nota: se dan traslapes entre periodos.
La Fase de escalamiento finaliza en el año 2032.

Procurando evidenciar con un mayor detalle las implicaciones que tendrán las acciones de mitigación por desarrollar durante los 10 años (2023-2032) de implementación previstas operar con la estrategia NAMA; se anotan en el Cuadro 65 expresados en porcentaje y área efectiva (hectáreas) y contextualizados en el tiempo (año de zafra), los incrementos esperados alcanzar con las medidas acordadas.

Los primeros 5 años corresponden al PLP y son de ejecución, comprobación y validación de tecnologías, estrategias y medidas de reducción de emisiones en el campo; para iniciar a partir del año 2025 el PE y con ello la fase creciente de implementación hasta el año 2032 cuando se cumple el compromiso institucional adquirido de cubrir el 75% del área cultivada correspondiente a 45.501 hectáreas.

Cuadro 65.

Plan de Pilotaje y Escalamiento según periodo de tiempo implicado y porcentaje de mitigación incorporado.

| Año | Plan Piloto* | Plan de escalamiento* | | | Incremento (%)* | | Área (ha)** | |
|------|--------------|-----------------------|---------|---------|-----------------|---------|-----------------|-----------|
| | | Primero | Segundo | Tercero | Acumulado | Parcial | Aumento parcial | Acumulada |
| 2022 | 0 | - | - | - | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 2023 | 0,057 | - | - | - | 0,057 | 0,057 | 35,0 | 35,0 |
| 2024 | 0,057 | - | - | - | 0,057 | 0 | 0 | 35,0 |
| 2025 | 0,057 | 5 | - | - | 5,057 | 5 | 3.068,0 | 3.103,0 |
| 2026 | 0,057 | 5 | 10 | - | 15,057 | 10 | 6.066,8 | 9.169,8 |
| 2027 | 0,057 | 5 | 20 | - | 25,057 | 10 | 6.066,8 | 15.236,6 |
| 2028 | 0,057 | 5 | 25 | 5 | 35,057 | 10 | 6.066,8 | 21.303,4 |
| 2029 | 0,057 | 5 | 25 | 15 | 45,057 | 10 | 6.066,8 | 27.370,2 |
| 2030 | 0,057 | 5 | 25 | 25 | 55,057 | 10 | 6.066,8 | 33.437,0 |
| 2031 | 0,057 | 5 | 25 | 35 | 65,057 | 10 | 6.066,8 | 39.503,8 |
| 2032 | 0,057 | 5 | 25 | 45 | 75,057 | 10 | 6.066,8 | 45.570,6 |

Nota: : el área sembrada con caña de azúcar en el país es de 60.668 hectáreas (2021) y la comprometida intervenir con la NAMA de 45.501 hectáreas (75%).

Parcelas Piloto: corresponde a 70 parcelas de 0,5 hectáreas c/u conformadas con dos tecnologías: PRODUCTOR y DIECA NAMA (TESCA), lo que representa un total de 35 hectáreas. La representación nacional es en dicho caso del 0,057%.

Los indicadores están dados en % (*) convertidos a área (ha) intervenida (**).

Por razones de tiempo, la ejecución del Plan inicia en el 2023 y finaliza su escalamiento en el 2032.

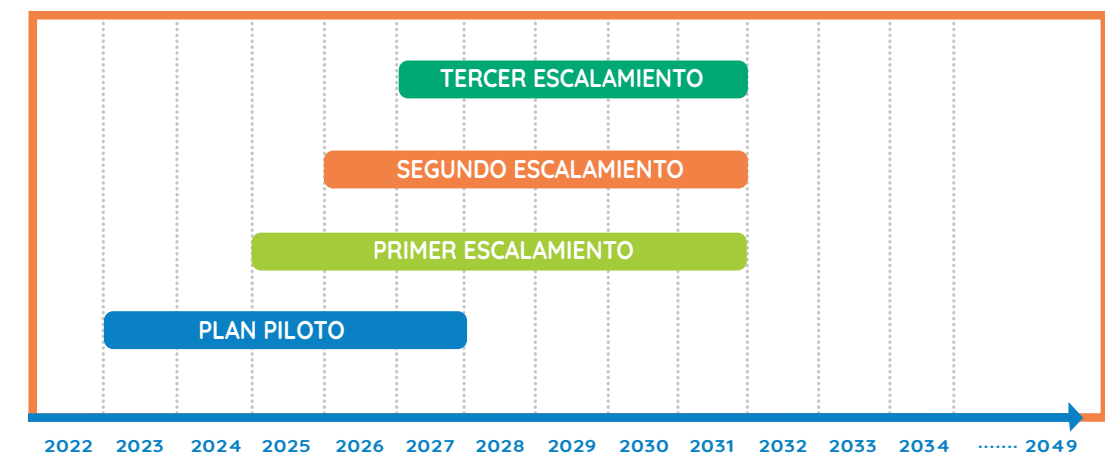


Figura 35.

Fases de implementación de la NAMA Caña de Azúcar.

La Figura 36 contextualiza y visualiza gráficamente la tendencia de crecimiento y progreso escalar del área (hectáreas) de mitigación incorporada, programada y seguida por el plan durante el periodo previsto de implementación correspondiente a 28 años transcurridos entre 2021 y 2049. Como se infiere la acción de campo inicia en el 2023 y finaliza luego de 10 años de ejecución de medidas mitigación GEI en el año 2032 cuando alcanza a cubrir el 75% del área comprometida, correspondiente a 45.501 hectáreas. A partir de ese periodo prosigue por 17 años hasta el año 2049 manteniendo la tendencia transformacional con muy buenas posibilidades de incrementarse si las condiciones lo permiten.

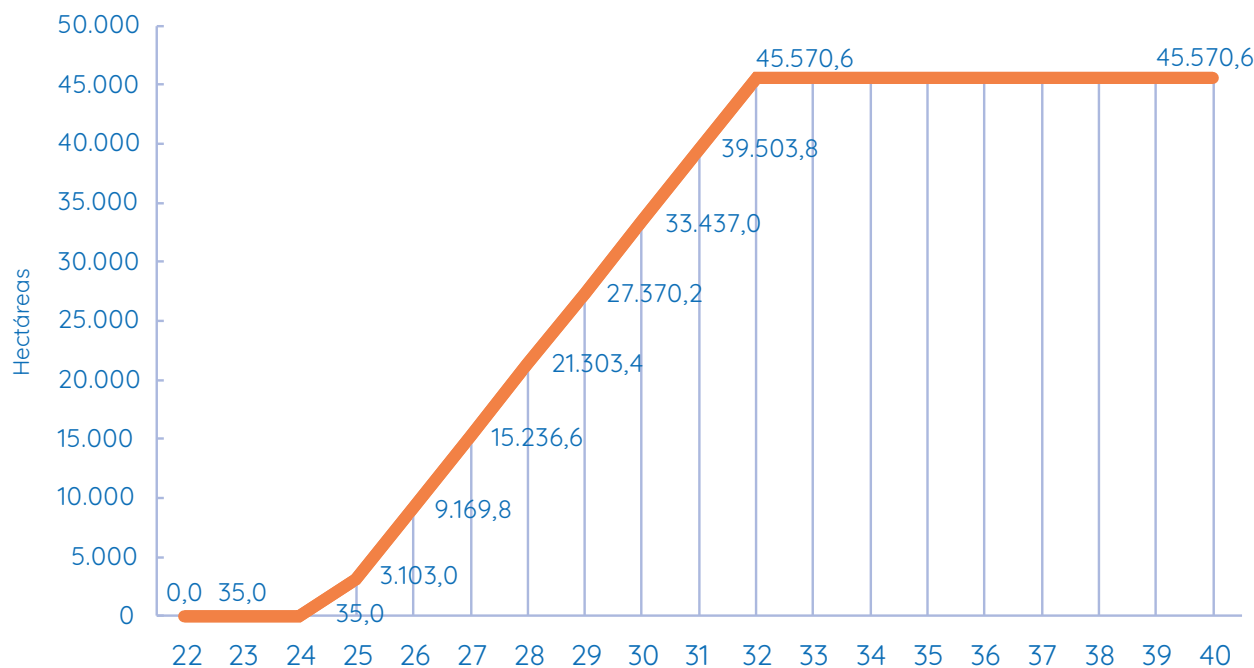


Figura 36.

Plan de mitigación según escalamiento de área (ha) en el tiempo.

9.1. Fase Plan Piloto (PLP)

Con el objetivo de fomentar al máximo la implementación de las estrategias de producción de caña de azúcar bajas en carbono, especificadas en el diseño técnico de la NAMA, se propone

establecer a nivel nacional FP distribuidas en las 6 regiones cañeras del país, asegurando que cada una de ellas involucre a Ingenios y productores de caña de azúcar líderes en sus respectivas regiones y localidades.

Esta fase inicial de gestión operativa consiste en el desarrollo de una iniciativa de validación y comprobación de resultados de las TESCA en el campo y/o donde corresponda generar acciones, en alineamiento directo con la iniciativa de mitigación propuesta, de las tecnología y medidas de optimización, adecuación y mejora conducentes a disminuir la emisión de GEI. Esta meta va directa y estrechamente complementada con el incremento de la productividad agroindustrial de la plantación intervenida.

Se recomienda ubicarlas geográficamente como lo señalan el Cuadro 66 y la Figura 37 de manera estratégica y representativa, un total de 35 unidades agroproductivas (FP) pertenecientes a PI e ingenios colaboradores, en las cuales se establecerán estratégicamente en cada una dos parcelas de comprobación de tecnología para completar un total de 70 parcelas, cuyo tamaño no será inferior a 0,5 hectáreas (una hectárea por unidad), pudiendo ser eventualmente mayor para una mayor representatividad si las condiciones lo favorecen. La cantidad de fincas seleccionadas por localidad mantiene una sana representatividad y correlación con el área comercial sembrada en cada región productora de caña. Dichas unidades de medición deberán incorporar plantaciones de todos los rangos de entrega contenidos en la legislación azucarera nacional de acuerdo con lo que establece LAICA (1998, 2000) al respecto (Punto 1.2.3). La estructura y contenido validado y evaluado será en todos los casos el siguiente:

- a. **Tecnología del productor:** Dicha parcela será conducida bajo la metodología tradicional y criterio 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. En lo pragmático toda la finca se constituye en 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-TESCA).
- b. **Tecnología NAMA:** La unidad productiva será establecida y conducida en este caso de acuerdo con las técnicas (paquete tecnológico) recomendadas por DIECA para la localidad (TESCA), con estricto apego a sus características edafoclimáticas, propiedades naturales y potenciales agroproductivos intrínsecos del lugar. Dicha tecnología incorpora discrecionalmente de acuerdo con la recomendación, los criterios de manejo y elementos de campo apegados en lo pertinente y consecuente con las recomendaciones NAMA orientadas a mitigar los GEI. Los cambios pueden ser de fondo en temas vinculados con la variedad sembrada, la forma de preparar el suelo y sembrar la plantación, la calidad de la fertilización aplicada, la forma de cosechar, etc.

Cuadro 66.

Número de FP y sus respectivas parcelas de validación con implementación de la NAMA y tecnología propia del productor, según región y cantón.

| Región | Cantón | Total de Fincas Piloto/Región | Total de 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 Oeste | Carrillo | 4 | 8 |
| | Liberia | 3 | 6 |
| Guanacaste Este | Cañas | 3 | 6 |
| | Abangares - Bagaces | 3 | 6 |
| Puntarenas | Puntarenas | 2 | 4 |
| Total | | 35 | 70 |

Nota: Cada Finca Piloto contará con dos tipos de parcelas: tecnología NAMA (TESCA) y tecnología del PRODUCTOR.

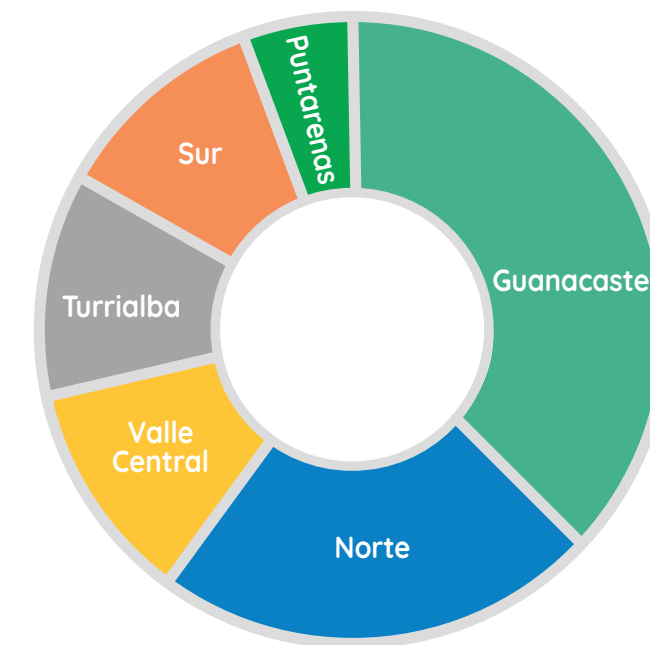


Figura 37.

Distribución de FP por región productora.

Buscando alcanzar y potenciar la mayor representatividad y cobertura posible no solo regional sino también tecnológica, la ubicación de las FP en el campo tendrá un sentido geográfico y estratégico muy específico y particular al considerar los escenarios agroproductivos más representativos y apegados a los entornos de producción más dominantes en cada localidad seleccionada. Esto partiendo de la realidad prevaleciente ya demostrada en cuanto a la heterogeneidad existente no apenas entre regiones y zonas productoras; sino también extensivo a lo interno de cada localidad cañera, donde las condiciones de cultivo son por lo general muy disímiles como fuera demostrado con anterioridad (Chaves *et al* 2018; Chaves y Chavarría 2021a; Chaves 2017a, 2019agh, 2020abq, 2022b).

Bajo esta premisa de trabajo se considera imperativo y necesario tomar en consideración al seleccionar las fincas y definir la temática y contenido tecnológico de las parcelas con Tecnología NAMA (TESCA), varios elementos, características y condiciones diferenciadoras que marcan pauta como criterios a validar y comprobar en el campo, como se propone en el Cuadro 67. Se mencionan en dicho cuadro un total de 18 asuntos selectivos a tomar en cuenta y considerar con el objeto de lograr la mayor representatividad de los entornos y sistemas de manejo vigentes en el país. Otras modalidades de manejo pueden ser también incorporadas en la tipificación de las PP en el tanto tengan alta representatividad. Cada una de las FP conlleva la obligada implementación de un estricto sistema de MRV donde se registren todos los DA requeridos para evidenciar y demostrar los resultados alcanzados y que servirán de base en el PE posterior.

Cuadro 67.

Elementos a considerar en la definición y conformación de las FP.

| No. | Factor / Condición |
|-----|--|
| 1 | Estructura de tenencia de la tierra (pequeña, mediana, grande) |
| 2 | Altitud del lugar (msnm) |
| 3 | Condiciones de clima prevaecientes y dominantes |
| 4 | Características y condiciones edáficas orientadas a fertilidad natural (alta, media, baja) |
| 5 | Renovación de plantaciones agotadas en fase improductiva y/o poco rentables |
| 6 | Siembra en suelos francos (<i>Inceptisoles</i> , <i>Ultisoles</i> , <i>Andisoles</i>) o arcillosos (<i>Vertisoles</i>) |
| 7 | Siembra y manejo de plantaciones en relieve plano, ondulado o quebrado |
| 8 | Preparación mecanizada de suelos o manejo con mínima labranza y mecanización reducida |
| 9 | Corrección o no de suelos ácidos (<i>Ultisoles</i> , <i>Andisoles</i> , <i>Inceptisoles</i> , <i>Entisoles</i>) |
| 10 | Uso o no de materiales orgánicos y biofertilizantes |
| 11 | Empleo de semilla mejorada de alta calidad y pureza genética |
| 12 | Fertilización balanceada o desequilibrada |
| 13 | Uso diferencial de nitrógeno en cuanto a fuentes, dosis, épocas y formas de aplicación |
| 14 | Cultivo con riego o desarrollado en secano |
| 15 | Control biológico y Manejo Integrado de Plagas (MIP) y de Cultivo (MIC) |
| 16 | Cosecha manual, mecanizada o semimecanizada |
| 17 | Manejo de residuos biomásicos de cosecha (RAC) |
| 18 | Replamamiento vegetal con especies arbóreas aptas y adaptadas al lugar |

La selección idónea de los agricultores requeridos para implementar las medidas contenidas en la NAMA Caña es fundamental, pues deben contar con un perfil que los habilite y califique para actuar como referentes de un modelo productivo sobre el cual se compararan las bondades de la tecnología NAMA recomendada. El Cuadro 68 menciona algunas (19) de las calidades más destacables que debe tener el productor de caña seleccionada. En su dimensión son las mismas que aplican para los ingenios que fueran seleccionados para actuar como FP.

Cuadro 68.

Aptitudes y atributos deseables de los productores para considerar en su selección 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. No puede convertirse en un "competidor" que por buscar ganar pueda alterar lo establecido en su parcela. |
| 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, la iniciativa ambiental 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 a otros agricultores |
| 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 confianza |
| 15 | Busca alternativas innovadoras para la solución de sus problemas |
| 16 | Acepta el liderazgo compartido |
| 17 | Comprometido e identificado con la causa ambiental |
| 18 | Dispuesto a incluir en su modelo agroproductivo la naturaleza y la biodiversidad |
| 19 | Apoya y promueve el fortalecimiento de la organización campesina |

El objetivo principal de cada variante de parcela es poder comparar los índices productivos, de rentabilidad y de gestión ambiental (emisión de GEI), que faciliten distinguir los beneficios de la producción de caña de azúcar con criterio bajo en emisiones de carbono. Cada parcela tendrá como se indicó, una extensión no menor a 0,5 ha, incluyendo todo el ciclo de cultivo desde su siembra, hasta la cuarta soca, para un período de tiempo total de 5 años de evaluación y monitoreo. Adicionalmente, la fase piloto permitirá validar y ajustar los mecanismos de implementación de la NAMA para planificar las etapas posteriores de escalamiento, para lo cual deberá generar información valiosa para desarrollar el mecanismo financiero, perfeccionar el mecanismo de acompañamiento técnico, mejorar la métrica y ajustar la gobernanza.

Estas FP servirán durante su permanencia en el campo, como valiosos elementos e instrumentos didácticos para la intensa y dinámica labor de transferencia de tecnología que se desarrollará en cada localidad productora; motivo por el cual dichas parcelas serán aprovechadas como “vitrinas” en diferentes actividades de campo programadas estratégicamente en función de las diferentes etapas fenológicas del cultivo, Se espera con esto, que el productor se interese, copie y adopte las prácticas exhibidas, y, además, que se experimente el “efecto cascada”, aprovechando tanto la credibilidad como agente de cambio del productor local líder, como lo observado individualmente en campo.

9.1.1. Selección de las unidades productivas

La selección y definición geográfica donde se ubicarán las unidades productivas o FP en el campo, se efectuará siguiendo un esquema basado en criterios que aporten representatividad en componentes fundamentales como son:

- a. **Localidad:** se buscará lugares que sean geográficamente representativos del área productiva comercial de la región.
- b. **Territorialidad:** el tamaño de las unidades productivas debe distribuirse de acuerdo con la estructura de tenencia de la tierra de la zona, considerando fincas pequeñas, medianas y grandes. Los ingenios ocupan un espacio determinante en este criterio.
- c. **Tipo de productor:** ubicará fincas que representen en lo posible los Rangos (6) de

Entrega de materia prima dominantes (Punto 1.2.3) de acuerdo con la legislación azucarera (LAICA 1998, 2000).

- d. **Manejo tecnológico:** el sistema y modalidad de manejo tecnológico de las plantaciones comerciales es determinante como criterio de selección, pues determina lo que se desea mejorar, contrarrestar y/o superar.
- e. **Condiciones especiales:** caso exista alguna condición especial natural que sea representativa del lugar, deberá considerarse como factor diferenciador entre los criterios selectivos; como acontece por ejemplo con relieve quebrado, suelos arcillosos, ciclo vegetativo prolongado (18-24 meses), alta humedad o sequía, presencia de piedras, alta erosión, etc.
- f. **Disposición a colaborar:** esta condición es muy importante para tomar la decisión final. El productor participante debe cumplir y satisfacer a cabalidad los atributos enunciados en el Cuadro 68, con lo cual se asegura objetividad en los resultados que con su participación se obtengan. El productor seleccionado debe ser fiel al compromiso adquirido y a su participación como parte esencial para el éxito del proyecto.

Como se infiere, la selección y designación del lugar y características del productor colaborador donde serán instaladas las FP corresponde a un proceso muy importante en el cual participarán activamente la Cámara de Productores de Caña, los ingenios azucareros y el profesional de DIECA ubicados en el lugar. Se busca obtener mucha identidad y representatividad en los resultados que a partir de las mismas se obtengan.

9.1.2. Costo de las Parcelas Piloto

El Cuadro 69 detalla el costo total correspondiente al establecimiento, mantenimiento y cosecha de las parcelas ubicadas en las FP para un ciclo continuo de cultivo de 5 años, estimado de acuerdo con el tipo de manejo incorporado. Para el sistema NAMA los costos incluyen el establecimiento, mantenimiento y cosecha de las parcelas con implementación de Tecnología NAMA (TESCA); mientras que para el Sistema del Productor se excluyó por razones financieras la cosecha.

Cuadro 69.

Estimación económica para el establecimiento, mantenimiento y cosecha de un ciclo completo de plantación, de 70 parcelas con dos sistemas de producción de caña de azúcar (NAMA y Productor), en seis regiones productoras.

| Tipo de parcela | Total de parcelas | Área (ha)/ Parcela | Costo según tipo de parcela | | Costo Plan Piloto | |
|----------------------------|-------------------|--------------------|-----------------------------|----------------|--------------------|----------------|
| | | | | | (5 años) | |
| | | | ₡ | US\$*** | ₡ | US\$*** |
| Tecnología NAMA* | 35 | 0,5 | 45.500.000 | 71.094 | 227.500.000 | 355.469 |
| Tecnología del Productor** | 35 | 0,5 | 28.875.000 | 45.117 | 144.375.000 | 225.586 |
| TOTAL | 70 | 1 | 74.375.000 | 116.211 | 371.875.000 | 581.055 |

* Se basa en el costo promedio nacional por hectárea para un ciclo de 5 años de cultivo (₡2.600.000).

**Se basa en el costo promedio nacional por hectárea sin incluir el costo de cosecha (₡1.650.000).

*** Valor de cambio =₡640/US\$.

Para el cálculo de los costos de las parcelas con implementación de tecnología NAMA, se utilizó el costo promedio nacional por hectárea fijado por DIECA, incluyendo lo relacionado con la preparación del terreno, semilla, fertilizantes, herbicidas, madurantes, prácticas de cultivo habituales, cosecha y servicios varios; procediendo luego a ponderar los costos para un ciclo comercial de cultivo de 5 años (Ciclo Planta y 4 Socas). El resultado de esta operación definió para este sistema una inversión estimada en ₡2.600.000/ha (₡1.300.000/media hectárea). Por otro lado, para el sistema de manejo del productor se utilizó la misma información, pero sustrayendo el costo promedio nacional implicado con la cosecha, dando como resultado una inversión estimada en ₡1.650.000/ha (₡825.000/media hectárea). La razón de no incluir la cosecha en la parcela del agricultor entre los costos estimados y asumidos por el proyecto responde exclusivamente a una circunstancia de ahorro presupuestario; lo cual no significa, sin embargo, que la misma no se contabilice como DA final. Debe quedar claro que el costo de esta corrección en este caso por parte del agricultor y no con cargo al programa.

Finalmente, estos costos se transfirieron y proyectaron a las 35 parcelas de cada sistema de producción, dando como resultado un total de ₡45.500.000 (US\$71.094) para las parcelas con Tecnología NAMA, y ₡28.875.000 (US\$45.117) para las parcelas con manejo propio del productor. Asimismo, se estimó que para cubrir un ciclo completo de cultivo (5 años), se requerirá disponer de un total de ₡227.500.000 (US\$355.469) y ₡144.375.000 (US\$225.586), respectivamente, alcanzando por ello un costo total de ₡371.875.000 (US\$581.055).

9.2. Fase de Escalamiento (PE)

Con la información generada a nivel nacional por el PLP y lo tecnológicamente ya validado y comprobado de manera específica en el campo para condiciones y localidades particulares; se deberá motivar, favorecer e inducir de manera creciente y sistemática la implementación en el área cañera nacional las medidas y tecnologías conducentes a lograr la mitigación GEI y la adaptación. Asimismo, también a estimular el incremento significativo y sostenido de la productividad agroindustrial de las plantaciones comerciales involucradas como meta complementaria.

Los Cuadros 64, 65 y las Figuras 36 y 37 son muy expresivos y precisos en contextualizar y visualizar el ritmo de escalamiento propuesto desarrollar en el término de 10 años (2023-2032) continuos y que le permitiría al sector alcanzar y cumplir con la expectativa del 75% de mitigación del área nacional cultivada con caña de azúcar, estimada en 45.501 hectáreas. El escenario base tomado como referencia corresponde al proyectado por la LB que no ha sufrido variaciones por incorporación de medidas y prácticas concebidas en la NAMA.

En lo particular y específico la Fase de Pilotaje desarrollada durante 5 años continuos sobre 35 fincas alcanza un grado de intervención muy bajo en cuanto a mitigación de apenas 0,057%, equivalente a 35 hectáreas; en tanto que en el Primer Escalamiento el mismo será del 5% correspondiente a 3.068,4 hectáreas en un periodo de solo 2 años iniciando en el 2025. El Segundo Escalamiento operado durante 3 años fija como meta cubrir un área de 15.167,0 hectáreas, las cuales serán complementadas con otras 27.300,6 hectáreas que significan un 45% alcanzadas en el Tercer Escalamiento hasta completar la meta comprometida del 75% en la zafra 2031-2032. Como se aprecia, el plan propuesto desarrollar presenta algunos traslapes en sus fases iniciales de implementación que buscan potenciar los impactos esperados. El PE involucra fincas de diferente tamaño pertenecientes a PI e ingenios, las cuales contabilizan para el objetivo buscado por el área cubierta en hectáreas y no necesariamente por la cantidad de unidades productivas incorporadas.

Es importante señalar que hay medidas y acciones de mitigación que no están necesariamente sujetas a esperar el resultado que generen las FP para ser recomendadas e implementadas, como acontece con los 15 asuntos mencionados en el Cuadro 68, como son el uso de riego, la recarbonización del suelo, la corrección de la acidez, el empleo de semilla de calidad y variedades recomendadas, la siembra de especies arbóreas en áreas despobladas, el ajuste mecánico de equipos y maquinaria, entre otras. Los tiempos implicados para tener resultados pueden ser variables dependiendo del asunto evaluado.

Tanto en las FP como en el PE se procederá a evaluar y valorar de manera comparativa diferentes indicadores representativos en cada una de las tecnologías seleccionadas, conducentes a reducir la emisión de GEI y elevar los índices fundamentales de productividad

agroindustrial, representados en este caso por la productividad agrícola medida por las toneladas métricas de caña producida y cosechada por hectárea (t/ha), la concentración de azúcar que contenga dicha materia prima dada en kilogramos de sacarosa por tonelada métrica de caña procesada (kg/t), y con ello, estimar la productividad agroindustrial expresada en toneladas de azúcar por hectárea (t/ha).

La integración de las fases piloto y escalamiento operarán de manera articulada e integrada en el tiempo de acuerdo con lo anotado en el Punto 5 de este documento, en el cual los mecanismos de Gobernanza constituidos por los órganos superiores de dirección del sector azucarero, representados en este caso por FEDECAÑA, Cámara de Azucareros y LAICA, en estrecho vínculo con el MAG, INTA y MINAE, se encargarán de asegurar la correcta, pertinente y adecuada implementación de todas las acciones previstas y debidamente expuestas en las Figuras 24 y 25. Para cumplir con este fin, se realizarán las reuniones intersectoriales e interinstitucionales de coordinación que sean necesarias para asegurar que lo previsto por la NAMA sea cumplido en los términos de tiempo, contenido y calidad que corresponda.

La gestión prevista desarrollar conlleva la obligada integración, articulación y operación de los Mecanismos de Investigación e Innovación (Figura 22) y Mecanismo de Desarrollo (Figura 23), para en primera instancia identificar y priorizar las demandas y limitantes que con mayor intensidad y frecuencia, se constituyen en fuentes emisoras de GEI y obstructoras al incremento de la productividad. La gestión anterior permite diseñar y generar los mecanismos de cambio tecnológico requerido, orientados a mitigar los GEI mediante las acciones NAMA y promover complementariamente un incremento significativo y sostenido de la productividad agroindustrial del cultivo de la caña de azúcar.

En una primera fase (piloto) serán implementadas y validadas con agricultores e ingenios colaboradores, medidas tecnológicas que buscan reducir y optimizar el uso de los recursos disponibles, logrando identificar luego de 5 años de evaluación continua, las de mayor viabilidad, factibilidad y efectividad para los fines propuestos, lo que pasará a constituir la Tecnología NAMA. En una segunda etapa (escalamiento) se acopiarán las tecnologías más eficientes y con mayor potencial para ser incorporadas incrementalmente en áreas de mayor dimensión (ha) en todo el país que llegarán a satisfacer en el 2032 el 75% del área comprometida (45.501 ha). Dicha gestión tanto en pilotaje como en escalamiento contará con el acompañamiento y seguimiento continuo de profesionales especialistas y agentes de cambio en las áreas de pertinencia que se requieran.

Las diferentes fases que de manera sucesiva y sostenida serán implementadas, conllevarán en la medida de lo previsto y acordado, la ejecución del Sistema MRV, actuando sobre indicadores específicos representativos que revelen el estado de la actividad e impacto de las medidas implementadas, así como las acciones correctivas e innovadoras que sean requeridas. Es importante mencionar que tanto las acciones de Gobernanza, de Operación y de MRV en todos los ámbitos del proyecto, serán ejecutadas en cada una de las 6 regiones productoras de caña

de azúcar del país, buscando un efecto integrador de mayor efectividad. La implementación será regional operada bajo un concepto de integración nacional lo cual será establecido y operado por el Sistema MRV.

Todo lo anterior tendrá como eje transversal la implementación de medidas y actividades de información, capacitación y entrenamiento que favorezca la motivación y socialización del proyecto NAMA con todos los actores que componen la agroindustria azucarera en el país; logrando con ello el cumplimiento cabal de los objetivos y metas propuestas originalmente por la NAMA Caña de Azúcar. La dinámica y giro de toda la información permeará en todos los niveles del esquema de Gobernanza y no exclusivamente de manera unidireccional.

10. Componente financiero

10.1. Alcance y periodo de implementación

La presente sección procura establecer los mecanismos y definir los costos implicados en la implementación y el desarrollo del PLP (5 años) y la etapa inicial de Escalamiento (PE) que espera cubrir un 5% del área correspondiente a 3.068,4 hectáreas; para lo cual se presenta seguidamente un detalle de estos, expuestos individualmente según partida presupuestaria.

En el Cuadro 70 se presenta con detalle lo correspondiente a Gastos de Inversión considerando un total de 13 rubros requeridos en la labor de organización, ejecución y seguimiento del plan, todo por un monto de US\$3.955.600. Entre los mismos se identifican aplicaciones en infraestructura, adquisición de maquinaria de campo, equipos operativos y de movilización requeridos tanto en el establecimiento y mantenimiento de las PP en las fincas; como también las actividades de MRV previstas desarrollar para el seguimiento de las acciones programadas.

Cuadro 70.

Proyección de inversiones previstos para implementación y operación de la NAMA Caña de Azúcar según partida.

| No. | Rubro | Canti- dad | Valor Unitario (US\$) | Costo Total (US\$) | Justificante |
|-----------------------|--|---------------|-----------------------------|--------------------------|--|
| A. Inversiones | | | | | |
| 1 | Equipamiento laboratorio de análisis de microbiología de suelos. | 1 | 60.000 | 60.000 | El suelo es un complejo espacio en donde interactúan microorganismos que favorecen el adecuado desarrollo de los ciclos biogeoquímicos (ciclo del carbono, nitrógeno, azufre, entre otros). Para lograr identificar y medir el impacto del programa de manejo NAMA en mejoramiento de los indicadores de la calidad del suelo, compararlos con los de la producción convencional de caña y poder establecer el efecto en la producción y gestión ambiental, es necesario establecer un servicio de análisis microbiológico del suelo, para lo cual se requiere equipar la infraestructura existente en la Estación Experimental DIECA, con microscopio, estereoscopio, incubadora, cámara de flujo laminar, equipo menor, cristalería, balanza, muebles y consumibles, todo lo cual en conjunto suma alrededor de US\$60 000. |
| 2 | Infraestructura y equipamiento para biofábrica para la producción de biofertilizantes y bioestimulantes como complemento a la nutrición del cultivo y a la reducción en el uso de fertilizantes sintéticos | 1 | 1.425.000 | 1.425.000 | DIECA está desarrollando actualmente nuevos insumos biotecnológicos a base de microorganismos que promueven el crecimiento vegetal por diferentes mecanismos, tales como: fijación biológica de nitrógeno, solubilización de fósforo, movilización de potasio y otros elementos esenciales; y también mediante la producción de fitohormonas. Las investigaciones preliminares han permitido identificar agentes altamente eficaces que en el corto plazo estarán siendo evaluados y validados en campo. Se estima que, en un plazo de 2 a 3 años, se tendrán diseñados prototipos de biofertilizantes y bioestimulantes para poder reducir significativamente los niveles de aplicación de fertilizantes sintéticos, entre estos, los fertilizantes nitrogenados, los cuales representan la mayor fuente de emisión de Gases de Efecto Invernadero (GEI). Por tal motivo, se requiere contar a nivel sectorial, de una planta que pueda escalar y formular estos productos, coadyuvando así de forma muy positiva, con los objetivos y metas planteados en la NAMA para caña de azúcar. Dicha planta podrá elaborar estos productos para al menos atender las necesidades en un 25% del área actual sembrada de caña de azúcar al menos durante sus primeros 4 años de funcionamiento. Luego de este período, será necesario estudiar la necesidad de ampliar su capacidad de producción. En resumen, los montos económicos requeridos para la infraestructura y equipamiento necesario, son de: infraestructura (US\$350,000), 4 biorreactores 10 L (US\$160,000), 2 biorreactores 100 L (US\$160,000), 2 biorreactores 1000 L (US\$200,000), un spray dryer (US\$100,000), un freezer (US\$80,000), dos agitadores orbitales de 20 L capacidad c/u (US\$50,000), dos autoclaves 300 L capacidad (US\$75,000), una caldera para esterilización (US\$60,000), un destilador con ultrapurificador (US\$75,000), un liofilizador (US\$25,000), una mezcladora (US\$30,000) una cámara de flujo laminar, microscopio, equipo menor, muebles, consumibles (US\$60,000). Total: US\$1,425,000. |

| No. | Rubro | Canti- dad | Valor Unitario (US\$) | Costo Total (US\$) | Justificante |
|-----------------------|--|---------------|-----------------------------|--------------------------|---|
| A. Inversiones | | | | | |
| 3 | Equipo de medición e instalación y mantenimiento de una Red Meteorológica Nacional del sector cañero-azucarero | - | - | 285.000 | Se procura instalar e interconectar en puntos estratégicos y representativos una Red Meteorológica con al menos 15 estaciones de medición ubicadas en las 6 regiones productoras de caña del país, articulada al IMN. Se requiere adquirir, instalar y dar mantenimiento a equipos y accesorios modernos (unificados en marca Campbell). Se espera contar con información climática en tiempo real, prospecciones y proyecciones que den espacio a la estimación de posibles comportamientos respecto a factores como lluvia, luz, temperaturas, viento, entre otras. Se sigue la experiencia existente en Guatemala con CENGICAÑA y Colombia con CENICAÑA; además de Brasil donde el concepto climático opera bajo la estructura de Red. |
| 4 | Planta para la producción de biocarbón (biochar) | 1 | 960.000 | 960.000 | El biocarbón (biochar) es la vía más rápida para recarbonizar el suelo. Además, es una enmienda que mejora integralmente los principales indicadores de la calidad del suelo (pH, acidez, densidad, capacidad de intercambio catiónico, absorción de agua, retención de nutrientes y microbiota). También contribuye a reducir la emisión de óxido nitroso a partir de la aplicación de fertilizantes nitrogenados. La producción de biocarbón crece anualmente entre un 12 y un 15% y aprovecha los residuos biomásicos que produce la agroindustria, dando valor agregado y reduciendo los costos en su tratamiento y gestión definitiva. El sector cañero-azucarero produce gran cantidad de biomasa residual que puede ser transformada en biocarbón. Según los estudios realizados en DIECA, hay un gran potencial para aprovechar los rastrojos de la cosecha y devolverlos al campo en forma de biocarbón. Para ello se requiere una inversión, como se indica a continuación: equipo para flujo continuo de una tonelada por hora (US\$350 000 CAP. 2 ton/hora) marca TENGDA, secador (US\$100 000, 4 ton/hora), chipeador (US\$60 000), pelletizador (US\$125 000), infraestructura y control de emisiones (US\$100 000), empacador (US\$50 000), almacenamiento de biomasa y producto final (US\$100 000), tractor 70-75 HP (US\$75 000). No incluye espacio físico para instalar la planta de producción. El monto total se estima en US\$960 000. |
| 5 | Mapeo físico-químico de suelos (nacional) | 1 | 80.000 | 80.000 | Busca realizar un estudio con grado de detalle de los suelos en escala al menos de 1:250 000 del área nacional sembrada con caña que caracterice la condición físicoquímica de los mismos, lo que implica realizar estimaciones, muestreos y análisis de suelos en puntos estratégicos. Implica una consultoría experta en el tema. Se espera contar con el calificado y necesario apoyo del INTA y de empresas comerciales vinculadas. |
| 6 | Equipos/ lectura de emisiones: cámaras de campo y equipo complementario. | - | - | 30.000 | Se espera desarrollar protocolos experimentales tendientes a determinar la emisión GEI en al menos 3 regiones cañeras del país, en las cuales se pueda cuantificar los GEI que se deriven de la aplicación de diferentes tecnologías. Para ello se requiere establecer pruebas, adquirir equipo para la recolección de muestras en campo y realizar las lecturas de los mismos. |

| No. | Rubro | Cantidad | Valor Unitario (US\$) | Costo Total (US\$) | Justificante |
|-----------------------|---|----------|-----------------------|--------------------|--|
| A. Inversiones | | | | | |
| 7 | Dron para mapeo | - | - | 15.000 | Herramienta para el seguimiento de las áreas de las fincas piloto durante la aplicación del sistema MRV con el objetivo de realizar levantamientos cartográficos detallados y brindar seguimiento espacial (SIG) del comportamiento del carbono en el suelo, índices de vegetación, índices de estrés, etc. |
| 8 | Trituradora de campo para material biomásico orgánico (RAC) | 12 | 9.300 | 111.600 | Se requieren 12 equipos mecánicos (2/región) que recogen, cortan y trituran la biomasa post cosecha (RAC) favoreciendo su posterior incorporación, compostaje y aprovechamiento en el suelo. El equipo se adapta a la toma de fuerza (tercer punto) del tractor. Se espera brindar servicio a los agricultores interesados que cosechen sus plantaciones en verde (sin quemar). |
| 9 | Empacadoras de material biomásico postcosecha | 6 | 53.000 | 318.000 | Equipo mecánico empleado para recoger en el campo biomasa residual de cosecha y enrollarla en pacas para uso alternativo como biocombustible en la producción de biocarbón o como suplemento para uso pecuario como forraje. El equipo se complementa perfectamente con la trituradora de campo. |
| 10 | Sistema informático para recopilación de datos MRV (plataforma) y diseño de sistema de registro/recolección de información/control contable. Manejo de App. | - | - | 45.000 | Consiste en una herramienta fundamental para la recopilación de datos de campo durante la implementación del plan piloto con el objetivo de llevar los datos y registros de actividad necesarios para el sistema MRV. El sistema permite la trabajar con una plataforma homologada para la obtención de los datos de actividad que será común a los técnicos y productores involucrados en el pilotaje y luego en la aplicación del NAMA, que facilitará el análisis de datos, medir los impactos de las medidas de mitigación y el desempeño agroproductivo del sector azucarero en tiempo real y en series temporales. |
| 11 | Equipo de computo | 8 | 1.500 | 12.000 | Laptop, disco estado sólido 500 MB, Ram 8 MB, pantalla 15 pulg, procesador Core i5. Empleado en operación y seguimiento de Plan Piloto. |
| 12 | Vehículos | 3 | 38.000 | 114.000 | 2 Pick up cabina sencilla, 4 x 4 (uno para cada asistente del programa NAMA); un pick up doble cabina 4 x 4 para coordinador. Vehículos marca Chevrolet Colorado. |
| 13 | Diseño y/o adquisición de 2 prototipos de cosechadora mecánica pequeña para cosecha de plantaciones en condiciones especiales | 2 | 250.000 | 500.000 | Se espera proponer y acompañar el diseño y posible construcción, o en su caso, la adquisición de dos prototipos de equipos de cosecha pequeños, acondicionados para terrenos de relieve ondulado/ quebrado y particularmente para cosecha en verde. El equipo requerirá contar con características apropiadas para satisfacer condiciones apropiadas particulares de algunas regiones productoras donde predominan estructuras de tenencia de la tierra propias de pequeños agricultores. |
| Sub Total | | | 3.955.600 | Dólares | |
| Sub Total | | | 2.531.584.000 | Colones | |

1 US\$= ₡640.

En el Cuadro 71 los requerimientos de Recurso Humano implicado en la implementación, operación y desarrollo de la iniciativa ambiental, lo que justifica la contratación de personal (9 personas) encargado de cubrir varias áreas de gestión importantes y especializadas, que vienen a generar nuevas opciones de manejo de recursos importantes para el cumplimiento de los objetivos previstos cumplir en áreas nuevas como son la microbiológica, la producción de bioinsumos, la coordinación sectorial de la NAMA, entre otras.

El monto requerido se estima en este caso en US\$1.000.000 para cubrir los 5 años de gestión del PLP.



Cuadro 71.

Proyección de gastos en RRHH previstos para implementación de NAMA Caña de Azúcar según partida.

| No. | Rubro | Canti- dad | Valor Unitario (US\$) | Costo Total (US\$) | Justificante |
|-------------------------|---|---------------|-----------------------------|--------------------------|--|
| B Recurso Humano | | | | | |
| 14 | Profesional en mi- crobiología de suelos (48 meses) | 1 | 3.437 | 165.000 | Encargado de realizar los análisis microbiológicos y brindar informes de estado microbiológico según tipo de manejo agronómico. Salario US\$3 437,50/mes/4 años (incluye cargas sociales). |
| 15 | Profesional Bio- tecnólogo o Ing. Bioprocesos (48 meses) | 1 | 2.292 | 110.000 | Encargado de biofábrica para la producción de bioestimulantes para 5 000 ha/año. Salario US\$2 291,67/mes/4 años (Incluye cargas sociales). |
| 16 | Operarios fábrica de biocarbón (48 meses) | 2 | 1.833 | 88.000 | Operarios calificados para biofábrica. Salario de US\$1 833,33/mes/4 años (dos personas, incluye cargas sociales). |
| 17 | Operarios biofá- brica (2 por 48 meses) | 2 | 1.833 | 88.000 | Operarios calificados para biofábrica. Salario de US\$1 833,33/mes/4 años (dos personas, incluye cargas sociales). |
| 18 | Coordinador de Programa NAMA (48 meses) | 1 | 5.945 | 285.500 | Coordinador nacional del Programa NAMA (Ing. Agrónomo con experiencia de 5 años en producción sostenible, BPA, MRV). Salario US\$5 945,12/mes/4 años (incluye cargas sociales). |
| 19 | Asistentes para acompañamiento NAMA (48 meses) | 2 | 5.488 | 263.500 | Asistentes (Ing. Agrónomo - 2 años experiencia en caña de azúcar). Salario US\$5 487,80/mes/4 años (dos personas, incluye cargas sociales). |
| Sub total | | | | 1.000.000 | Dólares |
| Sub total | | | | 640.000.000 | Colones |

Nota: 1 US\$= ₡640.

Adicionalmente se exponen en el Cuadro 72 con detalle y en asocio a lo mostrado en los dos cuadros anteriores, los Gastos Operativos por un monto total de US\$ 1.503.935. Dichos gastos están directamente relacionados en el establecimiento y los insumos implicados en el mantenimiento de las 35 parcelas en las PP, la operación y funcionamiento del área microbiológica y de biofábrica, el establecimiento y mantenimiento de la red climática, el análisis de muestras para Carbono Orgánico del Suelo (COS) y de gases recolectados en el campo para valorar el grado de emisión de óxido nitroso (N₂O), la ejecución de los diagnósticos sectoriales necesarios, la caracterización climática de las diferentes regiones, zonas y localidades productoras de caña. Asimismo, se pretende dar contenido económico a las diversas actividades de divulgación, capacitación y entrenamiento teórico-práctico necesario operar mediante didácticas diversas para promover y motivar al sector productor a ingresar y sumarse a la iniciativa de reducción de GEI. La formulación de importantes documentos técnicos y protocolarios está concebida también en esta partida, cuyo término de operación está pensado para los 5 años previstos para el PLP.



Cuadro 72.

Proyección de gastos operativos previstos en la implementación de la NAMA-Caña de Azúcar según partida.

| No. | Rubro | Canti- dad | Valor Unitario (US\$) | Costo Total (US\$) | Justificante |
|----------------------------|--|---------------|-----------------------------|--------------------------|---|
| C Recurso Operativo | | | | | |
| 20 | Insumos para el establecimiento y manejo de Fincas Piloto y Parcelas Demostrativas | 70 | 116.211 | 581.055 | De acuerdo con lo previsto por la NAMA, se espera iniciar con la instalación y seguimiento mediante MRV de 70 Parcelas Demostrativas o Fincas Piloto (6 regiones x 2 parcelas piloto (35 por finca) con tecnología NAMA-TESCA y PRODUCTOR), distribuidas en toda el área cañera nacional cuyo tamaño se espera sea igual o superior a media hectárea c/u, por medio de las cuales se validarán aspectos específicos asociados con la NAMA. Dichas parcelas serán estratégicamente ubicadas y estructuradas. Implica algunas veces instalar (sembrar), mantener y cosechar la parcela por varios ciclos (5 años) de acuerdo con el tópic evaluado. El costo por parcela se establece de acuerdo a los costos promedio nacional establecidos por DIECA, que es de aproximadamente US\$5 000/ha/año. El Plan Piloto abarca en total 70 ha por un período continuo de 5 años. Implica la adquisición de los insumos que serán empleados en el establecimiento, mantenimiento y cosecha de las Parcelas Demostrativas o Piloto: semilla, enmiendas, fertilizantes, agroquímicos. |
| 21 | Análisis muestras de gases (GEI) recolectados en campo para valorar emisiones de N ₂ O en laboratorio | | | 150.000 | Las muestras de gases (GEI) tomadas en el campo serán analizadas en el laboratorio para determinar emisiones de óxido nítrico (N ₂ O). Es necesario negociar con el INTA la realización y el valor de las lecturas de las muestras en laboratorio. Se espera contar en el término de 4 años con factores de emisión GEI propios y específicos para caña de azúcar por región. |
| 22 | Inventario nacional de recursos sectoriales (equipos) | 1 | 20.000 | 25.000 | Es necesario ajustar los indicadores básicos de emisiones que conforman la NAMA implicados en gasto de combustible, con el objeto de poder diseñar programas realistas que conduzcan a la mitigación efectiva de GEI, lo cual implica inventariar y conocer con detalle la condición real de los equipos y maquinaria existente actualmente y en uso en el sector. Para ello, se realizará un inventario en las 6 regiones que considere tipo, potencia (hp), estado mecánico, necesidades, grado de mantenimiento y uso, entre otros. La acción se realizará con el apoyo de DIECA, el DT de LAICA y las Cámaras de Productores regionales en la medida de sus capacidades |

| No. | Rubro | Canti- dad | Valor Unitario (US\$) | Costo Total (US\$) | Justificante |
|----------------------------|---|---------------|-----------------------------|--------------------------|--|
| C Recurso Operativo | | | | | |
| 23 | Diagnóstico nacional sectorial y regional de agroindustria | 1 | 20.000 | 25.000 | Conocer con detalle la condición de los indicadores técnicos y productivos básicos (insumos, tiempos y cantidades implicadas, áreas, productividad, etc.) actuales. Los mismos resultan esenciales para fijar estrategias, organizar planes, programas y acciones representativas orientadas a la mitigación de GEI y el incremento de la productividad. Es necesario conocer y establecer con certeza el punto de partida para alinear y orientar las acciones hacia las metas deseadas alcanzar. Se realizará con el apoyo de DIECA, el Departamento Técnico de LAICA y las Cámaras de Productores regionales en la medida de sus capacidades, una encuesta detallada a nivel regional para diagnosticar la situación actual prevaleciente y así evitar actuar a ciegas. |
| 24 | Caracterización climática de regiones, zonas y localidades productoras de caña | 1 | 22.000 | 22.000 | Se requiere realizar una detallada caracterización agroclimática de las regiones, zonas y localidades donde se produce caña para fabricar azúcar en el país. Esto implica adquirir información climática representativa (series de años de datos) que favorezca la caracterización. Puede implicar una consultoría especializada. El monto del gasto estará dependiente del apoyo real que se tenga del IMN en la materia técnica y aporte de información requerida. |
| 25 | Formulación y tiraje 7 Guías regionales: de cultivo (6), suelos y nutrición (1) | | | 60.000 | Con el objeto de orientar a los agricultores en materia tecnológica y dejar constancia de los elementos que integralmente implican manejar y conducir correctamente una plantación comercial y competitiva de caña, se diseñarán y publicarán 6 Guías Regionales de Cultivo y una Guía sobre Nutrición y Fertilización, que recojan y muestren integralmente y de manera sucinta las acciones y prácticas básicas a seguir. Las mismas tendrán enfoque y carácter regional. Se espera publicar 500 unidades de cada una papel con fotografías y también aplicarán en forma electrónica. |
| 26 | Formulación y tiraje Manual de Recomendaciones Técnicas del Cultivo | 1000 | 25 | 25.000 | Oportunamente se espera diseñar y publicar un documento de alta calidad y nivel técnico bajo la figura integrada de "Manual de Recomendaciones Técnicas del Cultivo" cuyo nivel por su contenido es elevado. Se espera reproducir 500 unidades en papel y una versión electrónica complementaria. Por su contenido es diferente a las Guías de Cultivo. |

| No. | Rubro | Cantidad | Valor Unitario (US\$) | Costo Total (US\$) | Justificante |
|----------------------------|---|----------|-----------------------|--------------------|--|
| C Recurso Operativo | | | | | |
| 27 | Formulación Manual de Buenas Prácticas Agrícolas | 1000 | 25 | 25.000 | Es necesario e insoslayable el diseño y la formulación de un documento técnico que opere como "Manual de Buenas Prácticas Agrícolas" donde se recojan, desarrollen y expliquen con carácter genérico y algún enfoque regional, las prácticas más comunes e importantes. Debe explicarse técnicamente como hacerlas y conducirlas correctamente. El documento asegura una práctica apegada a criterios validados en el campo y técnicamente bien fundamentados, incorporando materias legales asociadas a minimizar impericias, riesgos y peligros. |
| 28 | Diseño Protocolos específicos (4) por área de gestión | - | - | 4.000 | Por la naturaleza de las materias abordadas en la NAMA es necesario formular algunos protocolos de corte técnico y también administrativo sobre todo en materia de gobernanza y herramientas técnicas que orienten la gestión por desarrollar. |
| 29 | Establecimiento y seguimiento parcelas de medición y seguimiento de COS | 1680 | 16 | 26.880 | Deberán establecerse casi en forma inmediata y en puntos y condiciones estratégicamente seleccionadas en las 6 regiones cañeras, parcelas de muestreo y puntos de medición de Carbono Orgánico en el Suelo (COS), en las cuales se pueda determinar la dinámica del carbono. La duración del muestreo es prolongada en tiempo, aunque aquí se contabilizan los primeros 5 años. |
| 30 | Estudio sectorial Balance Emisión/Fijación de gases por la caña | - | - | 60.000 | Se espera realizar un estudio de muy alto nivel técnico de gran interés e importancia para el sector azucarero, por medio del cual se estimen los índices regionales y nacional de Emisión de GEI, pero también complementariamente los de Captura y Fijación de carbono, de manera que pueda realizarse un Balance de gases y poder demostrar el potencial ambiental que ofrece el cultivo de la caña de azúcar como mitigadora del cambio climático. El estudio resulta sectorialmente muy valioso y necesario. |
| 31 | Divulgación, capacitación y entrenamiento teórico-práctico | - | - | 500.000 | Se realizarán actividades grupales diversas de divulgación, capacitación y entrenamiento teórico-práctico empleando didácticas particulares acordes con la región, zona, condición y características particulares del tópico abordado y objetivos procurados alcanzar. Esto implica seminarios, talleres, cursos, charlas, giras; y el empleo de material didáctico apropiado: boletines, panfletos, brochure, publicaciones, hojas divulgativas, etc. |
| Sub Total | | | | 1.503.935 | Dólares |
| Sub Total | | | | 962.518.400 | Colones |

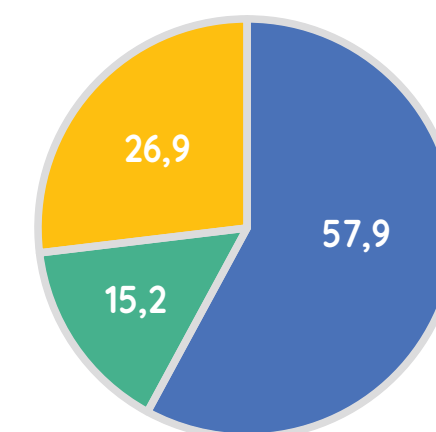
Nota: 1 US\$= ₡640.

El Cuadro 73 integra y presenta de manera sucinta las tres partidas presupuestarias mostradas en los Cuadros 70, 71 y 72, desagregado además en lo concerniente al PLP y su fase inicial de Escalamiento, revelando un monto total de US\$6.610.535. En términos específicos, ese monto se desagrega en US\$2.723.935 como PLP para una representación del 41,2% y US\$3.886.600 aplicados en activos requeridos para el Escalamiento posterior, correspondiente al 58,8%, respectivamente. En términos de partidas, la Inversión estimada en US\$3.830.600 representa el 57,9%; en tanto que los Gastos Operativos por un monto de US\$1.779.935 significan el 26,9% y la incorporación de nuevo Recurso Humano implica un gasto de US\$1.000.000 para un 15,2% del total. La Figura 38 presenta la distribución porcentual de las tres partidas indicadas, denotando su significancia relativa.

Cuadro 73.

Presupuesto general NAMA Caña según rubro y plan.

| Concepto | Piloto | | Escalamiento | |
|-------------------|------------------|------------|------------------|----------------------|
| | Monto (US\$) | Porcentaje | Monto (US\$) | Porcentaje |
| Inversión | 671.000 | 24,6 | 3.159.600 | 81,3 |
| Recurso Humano | 549.000 | 20,2 | 451.000 | 11,6 |
| Operativo | 1.503.935 | 55,2 | 276.000 | 7,1 |
| Total US\$ | 2.723.935 | 100 | 3.886.600 | 100 |
| | | | | US\$6.610.535 |



■ Inversión ■ Recurso Humano ■ Operativo

Figura 38.

Distribución porcentual de las partidas presupuestarias de la NAMA.

10.2. Justificación del plan de inversión y gastos operativos del Plan Piloto

Los Cuadros 70, 71 y 72 son claros y amplios en declarar con bastante detalle las características y montos solicitados, como también las razones y motivos que justifican la necesidad de invertir para asegurar la correcta y oportuna implementación del PLP, base fundamental de la Fase de Escalamiento posterior de la NAMA. Con el objeto de ser más específico en cuando al destino, uso y aplicación de los recursos financieros solicitados en las áreas de gestión de la NAMA, orientadas a promover la mitigación de GEI y elevar los índices nacionales de productividad agroindustrial, se expone un detalle con la justificación pertinente en los Cuadros 74 y 75. Se considera en los mismos lo correspondiente a la reducción de emisión de gases en el campo de la fertilización y aplicación de enmiendas al suelo; como también lo concerniente al incremento de la productividad, la operación y gobernanza de la NAMA, respectivamente.

Como se infiere, la necesidad de invertir resulta imperiosamente necesaria para iniciar con el establecimiento y operación del PLP y asegurar el consiguiente acompañamiento técnico del PE en sus tres etapas, el cual será dotado de insumos y equipo necesario para su desarrollo y fiscalización.



Cuadro 74.

Justificación del Plan de Gastos e Inversiones implicada en la NAMA: Fertilización, Enmiendas y Combustibles Fósiles.

| Área de gestión | Inversión - Gasto |
|---|---|
| A. - Reducción emisiones por fertilización y uso de enmiendas | |
| Optimizar el uso del nitrógeno y las enmiendas (cal) aplicadas al suelo | Realizar mapeo fisicoquímico de suelos con cobertura nacional |
| Evitar, reducir y mitigar pérdidas de N | Promocionar el manejo integral de plantaciones |
| Adecuar fuentes, dosis, épocas y formas de aplicación de nutrimentos con particular al N | Validar y adecuar tecnologías apropiadas a condiciones específicas de cultivo |
| Medir y cuantificar emisiones de GEI en el campo | Adquisición de equipos/ lectura de emisiones. Análisis de muestras |
| Medir y dar seguimiento a secuestro de Carbono Orgánico en el Suelo (COS) | Establecimiento, seguimiento y análisis de muestras evaluadas en parcelas referenciadas |
| Recarbonizar el suelo mediante incorporación de enmiendas orgánicas (<i>materia orgánica, biocarbono, biofermentos, siembra de árboles, etc.</i>) | Adquirir trituradoras para tratar material biomásico orgánico (RAC) en campo |
| Medir y cuantificar actividad microbiológica en el suelo | Equipamiento y operación de laboratorio para análisis microbiológico |
| Investigar fuentes, dosis, épocas y formas de aplicación de nutrimentos en especial N | Investigar fertilización según características del entorno regional |
| Escalar producción de bioinsumos y disponer producto para sector productor | Infraestructura y equipo para producir biofertilizantes y bioestimulantes. Contratación de personal con gestión continua por 4 años |
| Caracterizar y medir condición climática de los diferentes entornos agroproductivos | Instalación, operación y mantenimiento de Red Meteorológica Nacional |
| Establecer Balance Emisión /Fijación de gases por la caña de azúcar | Investigar y establecer balance de gases por región |
| B. - Reducción emisiones por uso combustibles fósiles | |
| Estudiar, diagnosticar y conocer situación actual de maquinaria y equipos mecánicos | Realizar inventario nacional de recursos sectoriales (componente mecánico) |
| Adecuar y optimizar sistemas y equipos mecánicos empleados en laboreo, cosecha y transporte de materia prima | Conocer y ponderar necesidades, capacidades y necesidades de equipos según necesidad |

Cuadro 75.

Justificación del Plan de Gastos e Inversiones implicada en la NAMA: incremento a la productividad, operación y gobernanza.

| Área de gestión | Inversión - Gasto |
|---|---|
| C. - Incremento de la productividad | |
| Ubicar y caracterizar las condiciones tecnológicas y productivas prevalecientes actualmente en las regiones productoras | Realizar estratégico diagnóstico nacional sectorial y regional sobre el estado actual de la agroindustria. Adquirir Dron para mapeo |
| Manejo apropiado de residuos biomásicos (RAC) en el campo | Adquirir y validar equipo para tratar residuos vegetales en el campo |
| Manejo integrado de prácticas y labores de campo para explotar potenciales intrínsecos | Mejorar la planificación y administración mediante la articulación y armonización sistemática de labores y tiempos implicados buscando maximizar los potenciales. |
| Adecuación y optimización de equipos, tiempos y prácticas agrícolas implicadas | Medir, diagnosticar y ponderar entre existencias, necesidades y potenciales |
| Disposición y acondicionamiento de materiales genéticos apropiados a características particulares del entorno | Investigación direccionada y validación de campo |
| Mejorar condiciones regionales de cosecha mecánica operada en condiciones especiales | Diseño/adquisición prototipo de cosechadora mecánica para cosecha de plantaciones en áreas pequeñas y condiciones especiales |
| Recolectar para posible traslado, incorporación (compostaje) y/o adición de valor agregado a material biomásico postcosecha (RAC) | Adquirir empacadoras y enrolladoras de material biomásico postcosecha |
| D. - Operación y gobernanza de la NAMA | |
| Organizar y definir las actividades y funciones del Comité Ejecutivo y el Comité Técnico Sectorial NAMA | Establecer los mecanismos protocolarios de gestión sectorial que habiliten y den seguimiento de la implementación y ejecución de la NAMA |
| Organizar y conformar a nivel regional y nacional la actividad de los COTER y el COTENAMA. | Identificar representantes sectoriales idóneos. Estructurar y ratificar protocolo operativo para la gestión desarrollada por esas dos instancias. |
| Establecimiento, manejo y seguimiento de Fincas Piloto y Parcelas Demostrativas con tecnología NAMA | Identificación de localidades, adquisición de insumos, materiales y personal de acompañamiento |
| Adquisición de equipamiento necesario para labor de uso regional | Adquisición equipos de cómputo y vehículos para transporte |

| Área de gestión | Inversión - Gasto |
|---|--|
| D. - Operación y gobernanza de la NAMA | |
| Diseño, operación y mantenimiento de sistema informático para recopilación y registro de datos MRV (plataforma) y sistema de registro/ recolección de información/ control contable. Manejo de App. | Diseño, implementación y operación de sistemas apropiados |
| Recolección, organización, depuración y registro de los Datos de Actividad según lo previsto y programado. | Ubicar y contextualizar los indicadores y actividades implicadas según tiempos y localidades. Concertar con criterios de SINAMECC. |
| Formulación y diseño de protocolos específicos para operar iniciativa NAMA | Formulación e implementación de protocolos específicos |
| Organización y ejecución de actividades grupales de divulgación, capacitación y entrenamiento teórico-práctico dirigido a productores | Aplicación de recursos en organización, atención y operación de actividades de transferencia tecnológica |
| Contratación de coordinador nacional de Programa NAMA Caña de Azúcar y equipo de apoyo | Contratación de funcionario calificado con gestión por 5 años |
| Diseño, formulación y reproducción de material didáctico técnico (guías, manuales) | Requerido para complementar gestión en transferencia de tecnología |
| Conformar Comisión Técnica sectorial responsable de facilitar y operar tema de financiamiento de la NAMA | Identificar representantes calificados con el tema financiamiento y crédito para buscar y canalizar recursos nacionales y externos |

10.3. Financiamiento Plan de Escalamiento (PE)

En esta importante fase de desarrollo de la iniciativa ambiental es necesario e imperativo contar con recursos financieros viables, factibles y accesibles, que posibiliten a muchos agricultores poder realizar las inversiones necesarias con el objeto de adecuar, incorporar los cambios necesarios y mejorar sus plantaciones en las materias de interés recomendadas.

Es importante concebir y entender que muchos de los ajustes no implican necesariamente grandes inversiones, como acontece por ejemplo con el ajuste de la fertilización nitrogenada en todos sus componentes técnicos, como son el empleo de la fuente idónea, adición de la dosis óptima, uso del método y época de aplicación más conveniente de acuerdo con las condiciones del lugar. Lo mismo acontece con las enmiendas, el control de emisiones por uso de combustibles fósiles en las diferentes labores mecanizadas, incorporación de labranza reducida, control fitosanitario efectivo, entre otras. Sin embargo, cuando de renovar una plantación agotada o en estado de baja rentabilidad se trata, si es necesario contar con

recursos que faciliten y den sustento a la gestión deseada y requerida. Otras acciones vinculadas con el establecimiento de un sistema de riego/drenaje, producción de semilla de calidad, preparación de terrenos, arborización de áreas desprotegidas, aplicación de biofertilizantes, incremento y balance de la fertilización, incorporación de prácticas de conservación de recursos naturales, mejora y adquisición de equipo y maquinaria, entre otras, si convierten el recurso económico en necesario para inducir el cambio deseado.

Considerando que algunas de las mejoras que la Tecnología NAMA (TESCA) propone incorporar con el objeto de mitigar GEI e incrementar productividad, requiere contar necesariamente con recursos económicos de inversión, como acontece con la renovación o expansión del área cultivada, la incorporación de sistemas de riego, el cambio o adquisición de equipo mecánico, la adecuación de terrenos, entre otras; torna imperativo gestionar y contar con líneas de crédito que habiliten y faciliten el acceso a recursos financieros en condiciones favorables. Lo anterior sin obviar fortalecer el apoyo que los ingenios y la organización prestan en materia de servicios y productos técnicos.

El cultivo de la caña de azúcar pese a ser considerada una planta rústica con gran capacidad de tolerancia a condiciones extremas y estresantes, como lo ha demostrado Chaves (2019aefg, 2020bcdefl, 2021f), requiere para explotar todo su potencial genético contar con las condiciones deseables y necesarias que favorezcan la obtención de altos niveles de productividad y con ello de rentabilidad. La organización cañero-azucarera costarricense cuenta en este sentido con importantes ventajas sectoriales que facilitan la gestión que en materia de crédito, financiamiento, atracción y canalización de recursos financieros pueda requerirse, como son entre otras las siguientes:

- a. Se cuenta con organizaciones regionales sólidas y experimentadas bajo la figura de Cámaras de Productores de Caña, Cooperativas e Ingenios Azucareros.
- b. Las Cámaras de Productores e Ingenios reúnen y concentran esfuerzos bajo la figura de una Federación de Cámaras de Productores y una Cámara de Azucareros, que da respaldo y fuerza a cualquier iniciativa que se emprenda en materia financiera. Las mismas cuentan además con el músculo corporativo que le provee LAICA como institución líder.
- c. Existe una cadena de valor institucional que opera de manera muy eficiente y que sirve de respaldo a los programas crediticios que puedan establecerse.
- d. La mayoría de las Cámaras y Cooperativas cuentan con almacenes de suministros e insumos que aseguran la disponibilidad de lo tecnológicamente necesario para el cultivo.

- e. En la región de Guanacaste y con alcance nacional se cuenta con GUANAZUCAR como instancia privada, vinculada con la adquisición de insumos, equipos y maquinaria bajo un concepto de proveeduría común, que facilita la adquisición de bienes fuera del mercado comercial en condiciones favorecidas.
- f. Existen varias experiencias sectoriales anteriores con la implementación y operación de programas de crédito dirigido al sector productor, que genera confianza (Chaves 2011d; Chaves y Bermúdez 2013).
- g. El sector cuenta con un órgano técnico especializado como es DIECA, que tiene profesionales regionalizados en todas las zonas productoras, lo que asegura la atención y la asistencia técnica en materia tecnológica.
- h. Los ingenios y las Cooperativas Azucareras poseen calificados y experimentados equipos profesionales que participan y acompañan la producción de caña en sus regiones; siendo además fuentes proveedoras de materiales, insumos y prestación de servicios técnicos cuando le son solicitados, como son la mecanización, labores de preparación de suelos y siembra, dotación de semilla de calidad, mantenimiento de plantaciones y cosecha, entre otras. Hay especial atención a los agricultores que entreguen su materia prima en los mismos.
- i. Se dispone de “paquetes tecnológicos” generados a partir de la investigación y experimentación desarrollada, que están debidamente validados y comprobados pragmáticamente a nivel regional, lo que da solidez a las recomendaciones técnicas generadas.
- j. En el caso de la operación de programas crediticios la retención parcial en la fuente del recurso económico comprometido con el Banco, en este caso en el ingenio donde el usuario entrega su materia prima, asegura la cadena de valor y reduce la morosidad, lo que es conocido por las entidades que conforman el Sistema Bancario Nacional (SBN). El Punto 8.1.1 hace referencia a ese mecanismo.
- k. Por sus características y propiedades la caña de azúcar constituye un destino crediticio seguro para cualquier oferente financiero, virtud de su alta rusticidad, capacidad de adaptación y tolerancia a condiciones adversas; los antecedentes así lo demuestran (Chaves 2021f).

Esas y otras condiciones vigentes en el modelo de organización y operación prevaleciente, tipifican a la actividad cañera como un destino crediticio favorable y preciado para cualquier entidad financiera que desee colocar recursos económicos.

10.4. Estimación de recursos financieros requeridos

La estimación de la necesidad financiera total requerida para desarrollar el Plan de Mitigación NAMA propuesto alcanzar en el tiempo previsto y con la calidad deseada, es una función multivariada determinada por el número de fincas comerciales que se integren y sumen a la iniciativa promovida, la inversión promedio por hectárea (€/ha) requerida de acuerdo con la mejora tecnológica incorporada, y la cantidad de hectáreas que se impactan en cada una de las fincas (área cubierta por la tecnología NAMA); lo cual, como ha quedado debidamente demostrado, varía significativamente con la región, la localidad y las características bióticas y abióticas intrínsecas y de manejo de la unidad productiva vinculada, por lo que no existe un estándar que aplicar ni regla que seguir al respecto. Por medio de la información generada por las PP se podrán comprobar dichas diferencias.

El costo total de la mejora ambiental y productiva propuesta desarrollar puede en principio perfilarse estableciendo algunos supuestos que ubican la magnitud potencial de la inversión implicada realizar, valorada para estos efectos por el área (hectáreas) cubierta y el monto económico requerido para inducir el cambio tecnológico deseado. Bajo ese principio se considera importante en primera instancia:

- Separar e individualizar por año el área comprometida involucrar (45.570,1 ha) en el periodo acordado de ejecución efectiva, correspondiente a los años 2023-2032.
- Considerar el área de terreno involucrada de acuerdo con los diferentes estados fenológicos y destino de la biomasa producida (comercial, semilla), que presentan las plantaciones comerciales de acuerdo con su estado vegetativo (Planta-Soca). Esto supone considerar e individualizar las áreas que en cada año se integrarán como nuevas, serán renovadas, destinadas a reproducir semilla o se encuentran en fase activa de retoño o soca.
- Estimar y conocer con detalle los costos promedio de producción agrícola por región y localidad considerados por la tecnología promulgada por DIECA (TESCA).
- Aplicar los costos (€/ha) determinados a cada condición vegetativa y año de referencia particular.

Dicho ejercicio teórico permite proyectar y dimensionar el costo total que supondría sembrar, renovar y/o atender las 45.570,6 hectáreas en los 10 años comprometidos de ejecución por escalamiento, lo que significa un máximo potencial de referencia importante de conocer. Bien sabemos que una inversión de esa magnitud no es posible ni tampoco necesaria de ejecutar, pues la Tecnología NAMA (TESCA) prevista incorporar no requiere obligatoriamente de una inversión de toda la unidad agroproductiva; sin embargo, cuando de plantaciones agotadas y poco rentables se trata, con pérdida importante de área efectiva (cepeadas), cultivadas con

variedades no recomendadas, con seria afectación fitosanitaria que en definitiva merecen ser renovadas, la inversión en siembra y mantenimiento se torna entonces obligada; lo que implica imperativamente disponer de semilla de calidad para operar el cambio.

Este ejercicio permite definir con bastante certeza los recursos requeridos para financiar las fincas en los 10 años de escalamiento comprometidos. El Cuadro 76 resume el área requerida desarrollar en consideración del número de fincas incorporadas en cada año, en concordancia con la naturaleza de esta, sea como área nueva, renovada, destinada a semilleros o en su caso en estado de retoño o soca. Como se anota en el mismo, cada una de esas condiciones se estimó con base en datos reales obtenidos a partir de la encuesta de campo realizada oportunamente (Punto 1.4.1) y cuyos porcentajes promedio nacional fueron de 1,3%, 10,2%, 2,5% y 86,0%, respectivamente. Dicha estimación queda sujeta de confirmar y evidenciar con el desarrollo y resultados que se alcancen una vez superada la fase piloto.

Cuadro 76.

Área cultivada (ha) según estado vegetativo de las plantaciones en Fase de escalamiento, periodo 2023-2032.

| Condición del Área | Incremento | Área atendida según año de ejecución | | | | | | | | % ** |
|--------------------|------------|--------------------------------------|---------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|------|
| | | 2025 | 2026 | 2027 | 2028 | 2029 | 2030 | 2031 | 2032 | |
| Nueva | Acumulado | 40,3 | 119,2 | 198,1 | 276,9 | 355,8 | 434,7 | 513,5 | 592,4 | 1,3 |
| | Parcial | - | 78,9 | 78,9 | 78,9 | 78,9 | 78,9 | 78,9 | 78,9 | |
| Renovada | Acumulado | 316,5 | 935,2 | 1.554,1 | 2.172,9 | 2.791,8 | 3.410,6 | 4.029,4 | 4.648,2 | 10,2 |
| | Parcial | - | 618,7 | 618,9 | 618,8 | 618,8 | 618,8 | 618,8 | 618,8 | |
| Semilleros | Acumulado | 77,6 | 229,2 | 380,9 | 532,6 | 684,3 | 835,9 | 987,6 | 1.139,3 | 2,5 |
| | Parcial | - | 151,6 | 151,7 | 151,7 | 151,7 | 151,7 | 151,7 | 151,7 | |
| Soca | Acumulado | 2.668,6 | 7.885,2 | 13.103,5 | 18.320,9 | 23.538,4 | 28.755,8 | 33.973,3 | 39.190,7 | 86,0 |
| | Parcial | - | 5.216,6 | 5.218,3 | 5.217,4 | 5.217,4 | 5.217,4 | 5.217,4 | 5.217,4 | |
| Total | Acumulado | 3.103,0 | 9.168,8 | 15.236,6 | 21.303,4 | 27.370,2 | 33.437,0 | 39.503,8 | 45.570,6 | 100 |
| | Parcial | - | 6.065,8 | 6.067,8 | 6.066,8 | 6.066,8 | 6.066,8 | 6.066,8 | 6.066,8 | |

Nota: : Incremento anual de área intervenida (ha) basado en lo indicado en el Cuadro 65.

* Indica el incremento entre años en forma parcial y acumulada.

** Los porcentajes aplicados en cada caso están basados en datos generados por la encuesta realizada.

La interpretación de ese cuadro indica que para iniciar la Fase de Escalamiento en el año 2025 como está previsto, como lo señalan el Cuadro 65 y las Figuras 35 y 36, es necesario incorporar un área de 3.103 hectáreas que se incrementa a 9.168,8 ha con un parcial de aumento de 6.065,8 ha en el 2026 y así sucesivamente, hasta completar las 45.570,1 hectáreas en el año 2032. Luego de ese año se sigue una fase continua y sistemática de mantenimiento del nivel de producción bajo en emisiones hasta el año 2049. Se expone asimismo un detalle desagregado con las características de las áreas de acuerdo con la tendencia normal que sigue en el país la incorporación de área nueva, renovación, semilleros o que se encuentra en estado de soca.

Con el objeto de contar con información económica confiable y fidedigna se presenta como referente el Cuadro 77 conteniendo un detalle regional de los costos promedio de producción agrícola por hectárea, correspondientes a cada región y localidad productora de caña del país. Los mismos se desagregan a su vez en Ciclo Planta y Retoño, desarticulando el primero para mayor detalle en sus dos componentes básicos: Establecimiento y Mantenimiento de la plantación, favoreciendo con ello poder ubicar las inversiones y los gastos operativos en esa dimensión.

No se considera ni incluye en ningún caso el costo implicado en la cosecha (corta, carga y transporte de la materia prima) de la plantación. Es importante destacar que la siembra y establecimiento (como área nueva o renovada) de una plantación comercial de caña, implica un gasto entre el 56,0 y el 68,8% para una media nacional del 60,5% del total de gastos requeridos; motivo por el cual, la fase posterior de mantenimiento de la plantación es apenas del 31,2-44% para una media del 39,5%.

En términos promedio el costo de sembrar y establecer (sin cosecha) una hectárea de caña de azúcar en Costa Rica es de US\$3.834, desagregado en US\$2.319 por establecimiento y US\$1.515 por mantenimiento. En el caso de la caña soca el costo es de US\$1.541. Dichos costos son oficiales de LAICA y son los empleados por el Sistema Bancario Nacional (SBN) para sus fines y objetivos crediticios.

Es evidente que cuando las tecnologías de cambio van orientadas a mejorar e impactar la nutrición en sus componentes de corrección de suelos ácidos mediante el uso de enmiendas, incorporación de materiales orgánicos, empleo de fertilizantes químicos (NPK), mecanización de labores de mantenimiento (escarificado, desaporca, aporca, etc.), aplicación de agroquímicos y bioestimulantes, entre otros, la inversión se torna significativamente menor. Por el contrario, cuando se prepara y mecaniza el terreno para su siembra (arada, rastrea, nivelación, descompactación, surcado, tapado de semilla, etc.) el costo implicado se eleva. Por su parte, el ciclo vegetativo de soca o retoño tiene un costo muy inferior (\approx -49%), que minimiza el costo de las inversiones asociadas con la tecnología NAMA.

Cuadro 77.

Costos de producción promedio por hectárea según región cañera y ciclo vegetativo de la plantación. Año 2022.

| Actividad | Monto en Colones / Región / Hectárea | | | | | | | | Promedio Nacional |
|-----------------------------------|--------------------------------------|------------|------------------|---------------|-----------|------------|-----------|-----------|-------------------|
| | Guanacaste | | Pacífico Central | Valle Central | | Zona Norte | Turrialba | Zona Sur | |
| | Cañas | Filadelfia | | Grecia | San Ramón | | | | |
| A. Establecimiento (Ciclo Planta) | 1.363.339 | 1.481.827 | 877.830 | 1.422.334 | 1.503.394 | 1.502.524 | 1.439.037 | 1.684.551 | 1.490.378 |
| Porcentaje | 61,1 | 65,6 | 56,0 | 64,5 | 62,0 | 67,0 | 64,0 | 68,8 | 60,5 |
| B. Mantenimiento de plantación | 869.074 | 776.530 | 690.597 | 781.390 | 921.234 | 739.052 | 809.793 | 764.361 | 974.137 |
| Porcentaje | 38,9 | 34,4 | 44,0 | 35,5 | 38,0 | 33,0 | 36,0 | 31,2 | 39,5 |
| Total Primer Corte (¢) | 2.232.413 | 2.258.357 | 1.568.427 | 2.203.724 | 2.424.628 | 2.241.576 | 2.248.830 | 2.448.912 | 2.464.515 |
| Total Primer Corte (US\$) | 3.473 | 3.513 | 2.440 | 3.428 | 3.772 | 3.487 | 3.498 | 3.810 | 3.834 |
| C. Segundo Corte (Ciclo Retoño) | | | | | | | | | |
| Total Segundo Corte (¢) | 911.680 | 816.483 | 690.597 | 765.773 | 766.678 | 770.206 | 899.780 | 782.109 | 990.688 |
| Total Segundo Corte (US\$) | 1.418 | 1.270 | 1.074 | 1.191 | 1.193 | 1.198 | 1.400 | 1.217 | 1.541 |

Fuente: LAICA-DIECA (febrero 2022).

Nota: los costos no consideran la cosecha (corta, carga y transporte) de la plantación. Se incluye el pago de Cargas Sociales Patronales de ley (26,5%).

1 US\$= ¢642,8.

Con base en la información anterior es posible estimar el costo absoluto en US\$ que tendría una inversión orientada a mejorar las 45.570,1 hectáreas comprometidas atender para reducir la emisión de gases durante el periodo de escalamiento (no piloto) e incrementar la productividad agroindustrial; para lo cual se presenta el Cuadro 78. Se indican en el mismo las áreas incrementales por año y condición del área implicada. Como se infiere, en el primer año de escalamiento 2025 se requeriría de US\$5.777.848, en el segundo 2026 de US\$11.295.380 y así sucesivamente hasta completar un total de US\$84.854.293 en el año 2032. Una medida de esta naturaleza no cabe duda iría en una mejora sustantiva y ostensible de la productividad agroindustrial del cultivo en el país, pues llegaría a resolver barreras y problemas serios y muy arraigados que atentan sobre el potencial y la capacidad de incrementar los rendimientos de campo.

En definitiva, la inversión incorporada con la ejecución de la NAMA Caña de Azúcar en el área prevista y comprometida cubrir (45.570 ha) genera varios beneficios cuantificables al sistema, entre los que pueden mencionarse los siguientes:

- a. Contribuir ostensiblemente con el Plan Nacional de Descarbonización de la economía (Costa Rica 2019).
- b. Una reducción importante en las emisiones de GEI fundamentada en los tres escenarios propuestos para ese fin.
- c. Adecuación de las plantaciones comerciales de caña de azúcar a lo técnicamente validado y recomendado.
- d. Un incremento significativo en los indicadores de productividad agroindustrial (t de azúcar/ha) intervenidos, como son las toneladas de caña industrializable cosechadas por hectárea (t/ha) y la concentración de sacarosa contenida y recuperada en la misma (kg/t).
- e. Acopio de la Ecoeficiencia y la Eco-competitividad como criterios y formas de producir caña de azúcar (Chaves 2022f).
- f. Diferenciación e incorporación de un nuevo producto: azúcar bajo en emisiones al comercio mundial.
- g. Aumento de la rentabilidad final y grado de competitividad de la agroempresa cañera.
- h. Arraigo por un modelo de producción agrícola en armonía con la naturaleza.
- i. Integración, socialización y participación directa de los agricultores e industriales en el desarrollo de la iniciativa.
- j. Conservación de los recursos naturales y la biodiversidad que capitalizan y dan valor a la unidad productiva.
- k. Aprovechamiento e incorporación de valor agregado a los recursos propios de la unidad productiva (economía circular).
- l. Conformidad y alineamiento con el marco legal y esfuerzos nacionales realizados en pro de la sostenibilidad ambiental.
- m. Promoción de una mayor integración intersectorial e interinstitucional nacional.
- n. Aumento y mejora sustantiva de la imagen sectorial a nivel nacional e internacional.

Sin la inversión y mejoras incorporadas mediante la implementación de la NAMA Caña de Azúcar, es claro que muchas de esos perfeccionamientos y logros serán difíciles de alcanzar en los tiempos establecidos por el programa, lo que resulta contraproducente para los intereses del productor de caña, la agroindustria azucarera, el sector agropecuario y el país.

Basados en esa información es factible establecer el costo de la Tecnología NAMA (TESCA) de acuerdo con los alcances y contenido tecnológico de la misma, la cual es muy variable y dependerá de los elementos de cambio y ajuste que se pretenda incorporar. El recurso financiero requerido para acompañar el escalamiento de áreas intervenidas con Tecnología NAMA deberá operarse y formalizarse mediante programas de crédito y acceso a recursos reembolsables y no reembolsables, identificados tanto a lo interno del país como también en el exterior.

Cuadro 78.

Costo (US\$) teórico de atender el área total comprometida según estado vegetativo de las plantaciones en Fase de Escalamiento, periodo 2023-2032.

| Condición del Área | Concepto | Área atendida según año de ejecución | | | | | | | | Total |
|--------------------|--------------|--------------------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| | | 2025 | 2026 | 2027 | 2028 | 2029 | 2030 | 2031 | 2032 | |
| Nueva | Área (ha) * | 40,3 | 78,9 | 78,9 | 78,9 | 78,9 | 78,9 | 78,9 | 78,9 | |
| | Monto (US\$) | - | 302.503 | 302.503 | 302.503 | 302.503 | 302.503 | 302.503 | 302.503 | 2.272.178 |
| Renovada | Área (ha) | 316,5 | 618,8 | 618,8 | 618,8 | 618,8 | 618,8 | 618,8 | 618,8 | |
| | Monto (US\$) | - | 2.372.479 | 2.372.479 | 2.372.479 | 2.372.479 | 2.372.479 | 2.372.479 | 2.372.479 | 17.820.838 |
| Semilleros | Área (ha) | 77,6 | 151,7 | 151,7 | 151,7 | 151,7 | 151,7 | 151,7 | 151,7 | |
| | Monto (US\$) | - | 581.618 | 581.618 | 581.618 | 581.618 | 581.618 | 581.618 | 581.618 | 4.368.747 |
| Soca | Área (ha) | 2.668,6 | 5.216,6 | 5.218,3 | 5.217,4 | 5.217,4 | 5.217,4 | 5.217,4 | 5.217,4 | |
| | Monto (US\$) | - | 8.038.78 | 8.041.400 | 8.040.013 | 8.040.013 | 8.040.013 | 8.040.013 | 8.040.013 | 60.392.530 |
| Total | Área (ha) | 3.103,0 | 6.065,8 | 6.067,8 | 6.066,8 | 6.066,8 | 6.066,8 | 6.066,8 | 6.066,8 | 45.570,6 |
| | Monto (US\$) | 5.777.848 | 11.295.380 | 11.298.000 | 11.296.613 | 11.296.613 | 11.296.613 | 11.296.613 | 11.296.613 | 84.854.293 |

Nota: supone que da atención tecnológica al total del área comprometida intervenir según estado vegetativo de las plantaciones con el Plan (45.570,6 ha) en el periodo 2023-2032. Estimaciones basadas en lo indicado en los Cuadros 76 y 77. Visualiza para fines crediticios el monto total implicado que es de US\$84 854 293.

* Indica el incremento parcial de área necesario financiar entre años.

Las áreas Nueva, Renovada y Semilleros conlleva siembra de la plantación.

En referencia a lo particular y específico vinculado con la aplicación de enmiendas y la fertilización mineral y orgánica de las plantaciones, todo conceptualizado como componente nutricional; se presenta en el Cuadro 79 y la Figura 39 un detalle económico de las recomendaciones técnicas consideradas por DIECA para cada región y localidad productora de caña del país, para los ciclos vegetativos de Planta (desagregado en Establecimiento y Mantenimiento) y Soca. Como se nota hay variaciones importantes entre zonas y ciclos vegetativos, destacando la Zona Sur por la incorporación de abono orgánico que realiza durante la labor de siembra, lo que eleva significativamente el costo relacionado. De igual manera, es notorio el no uso de enmiendas correctoras de acidez en la región de Guanacaste y el Pacífico Central debido a las características químicas de los mismos.

En términos técnico-económicos puede concluirse lo siguiente:

- La adición de abonos orgánicos para recarbonizar el suelo tiene un costo importante por las cantidades (kg/ha) que es necesario movilizar e incorporar.
- El uso de enmiendas (CaCO₃) va en relación directa con el grado de acidez presente en los suelos, ubicando su costo en aproximadamente un 24,4% de la inversión en nutrición cuando es incorporado. El 75,6% restante del costo corresponde a fertilizantes químicos entre ellos el nitrógeno.
- El costo de la nutrición incorporada durante la etapa de siembra y establecimiento de la plantación fluctúa entre 9,2% y 47,0% según región, para una media del 33,4% correspondiente a US\$203,5, US\$1.232,6 y US\$774,8, respectivamente. La incorporación de Fósforo (P) es en este caso muy importante y onerosa.
- En el caso de la etapa de mantenimiento del Ciclo Planta, el costo de la fertilización complementaria a la siembra fluctúa según región entre 18,6% y 29,7% para una media del 22,0% del costo total involucrado, lo que nominalmente corresponde a US\$539,3, US\$755,2 y US\$602,9, respectivamente.
- La corrección de los suelos y fertilización de las plantaciones durante el Ciclo Planta tiene un costo total promedio de US\$1.377,7, con variaciones significativas entre US\$652,9 y US\$1.942,9 que revelan una participación importante de ese rubro, ubicada entre el 14% y el 38,4% para una media del 27,2%.
- En el caso del Ciclo Soca o Retoño la fertilización impacta entre US\$468,9 y US\$770,3 para un promedio de US\$613,1; lo cual en términos porcentuales alcanza una significancia del 19,3%, 31,6% y 22,4%, respectivamente.
- Es evidente que en todos los casos la Zona Sur es la que mayor inversión realiza en procura de corregir la alta acidez e infertilidad de sus suelos; seguida por la región de Turrialba en consideración a su ciclo vegetativo variable y prolongado (12-24 meses).

- Queda demostrada la importancia de la nutrición (no apenas la fertilización) en el cultivo de la caña de azúcar, no solo como factor determinante e indiscutible de la productividad, sino también por su significancia e impacto en los costos de siembra y mantenimiento de una plantación comercial competitiva, los cuales son en promedio del 27,2% (US\$1.377,7) en Ciclo Planta y del 22,4% (US\$613,1) en el de Soca o Retoño. La implicación de este factor no es solo ambiental sino también productiva y económica.

Cuadro 79.

Costos promedio por hectárea implicados en la nutrición del cultivo según región cañera y ciclo vegetativo de la plantación. Año 2022.

| Actividad | Monto en Colones / Región / Hectárea | | | | | | | | Promedio Nacional |
|--|--------------------------------------|------------|------------------|---------------|-----------|------------|-------------|-------------|-------------------|
| | Guanacaste | | Pacífico Central | Valle Central | | Zona Norte | Turrialba | Zona Sur | |
| | Cañas | Filadelfia | | Grecia | San Ramón | | | | |
| A. Establecimiento (Ciclo Planta) | | | | | | | | | |
| - Aplicación de Enmiendas (CaCO ₃) | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 322,5 | 352,4 | 265,1 | 389,0 | 351,7 | 336,1 |
| - Fertilización a la siembra | 203,5 | 212,3 | 290,6 | 397,3 | 458,9 | 527,4 | 538,4 | 880,9 * | 438,7 |
| - Subtotal Establecimiento | 203,5 | 212,3 | 290,6 | 719,8 | 811,3 | 792,5 | 927,4 | 1.232,6 | 774,8 |
| - Porcentaje parcial establecimiento | 9,6 | 9,2 | 21,3 | 32,5 | 34,7 | 33,9 | 41,4 | 47,0 | 33,4 |
| B. Mantenimiento de plantación | | | | | | | | | |
| - Fertilización complementaria | 539,3 | 440,6 | 594,9 | 671,3 | 650,2 | 461,2 | 755,2 | 710,3 | 602,9 |
| - Porcentaje parcial mantenimiento | 21,7 | 18,6 | 29,1 | 25,6 | 23,0 | 19,4 | 29,7 | 29,1 | 22,0 |
| Total Primer Corte (¢) | 477.482,3 | 419.663,0 | 569.180,0 | 894.215,7 | 939.465,5 | 805.834,5 | 1.081.568,0 | 1.248.888,9 | 885.560,5 |
| Total Primer Corte (US\$) | 742,8 | 652,9 | 885,5 | 1.391,1 | 1.461,5 | 1.253,7 | 1.682,6 | 1.942,9 | 1.377,7 |
| Porcentaje del Costo por Nutrición | 16,1 | 14,0 | 26,0 | 28,7 | 28,3 | 26,6 | 35,2 | 38,4 | 27,2 |
| C. Segundo Corte (Ciclo Retoño) | | | | | | | | | |
| - Fertilización complementaria | 539,3 | 468,9 | 594,9 | 671,3 | 650,2 | 504,9 | 770,3 | 704,8 | 613,1 |
| - Porcentaje | 21,2 | 19,3 | 29,1 | 25,8 | 25,1 | 20,9 | 28,8 | 31,6 | 22,4 |
| Total Segundo Corte (¢) | 346.682,1 | 301.426,3 | 382.400,0 | 431.528,1 | 417.960,8 | 324.526,0 | 495.118,7 | 453.063,5 | 394.088,2 |
| Total Segundo Corte (US\$) | 539,3 | 468,9 | 594,9 | 671,3 | 650,2 | 504,9 | 770,3 | 704,8 | 613,1 |

Fuente: LAICA-DIECA (febrero 2022).

Nota: los costos consideran el pago de Cargas Sociales Patronales de ley (26,5%).

* Incluye abono orgánico.

1 US\$= ₡642,8.

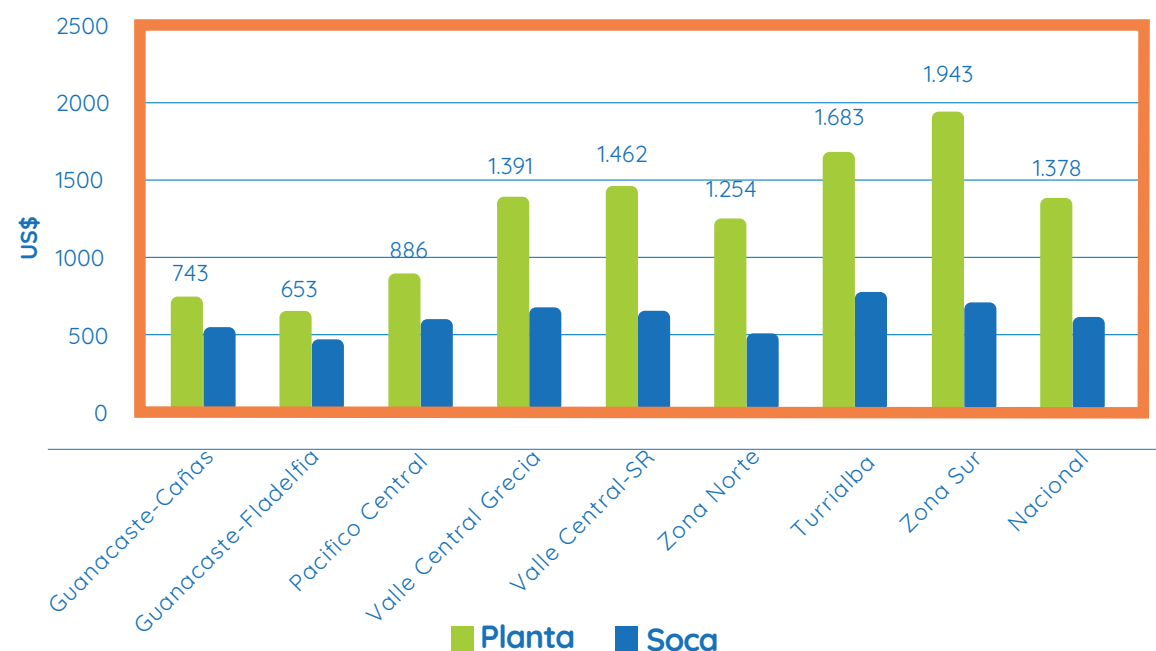


Figura 39.

Costos por concepto de nutrición según zona y ciclo vegetativo.

El Cuadro 80 muestra detalladamente los montos económicos según entidad y departamento, dentro del sector cañero-azucarero, utilizados para la elaboración del Diseño Técnico-Operacional de la NAMA en el cultivo de la caña de azúcar. Dichos montos fueron calculados con base en el costo mensual de la jornada laboral de los colaboradores (incluyendo cargas sociales), en el número de colaboradores involucrados (entre paréntesis), y en una estimación porcentual de la jornada laboral aplicada durante los 6 meses que fueron requeridos para finalizar los estudios y el documento final (noviembre 2021 a abril 2022). El monto total que representa la contrapartida aportada por el sector cañero-azucarero ascendió a los US\$179.848 (₡118.669.800).

Cuadro 80.

Contrapartida del Sector Cañero Azucarero para el Diseño Técnico y Operacional de la NAMA Caña de Azúcar por un período de seis meses.

| Entidad | Departamento | Componentes (participantes) | Costo | | |
|----------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|--------------------|----------------|--------|
| | | | ₡ | US\$ | |
| DIECA | - | Coordinadores Regionales (6) | 14.800.500 | 22.425 | |
| | | Jefes de Programa (4) | 6.949.800 | 10.530 | |
| | | Gerencia | 10.982.400 | 16.640 | |
| | | Especialista en caña de azúcar | 9.000.000 | 13.636 | |
| | Departamento de Sostenibilidad | Gerencia | 10.982.400 | 16.640 | |
| | | Jefe Sostenibilidad | 4.118.400 | 6.240 | |
| | | Departamento Técnico | Gerencia | 5.491.200 | 8.320 |
| | | | Técnicos (6) | 8.236.800 | 12.480 |
| | | Departamento de Mercadeo | Gerencia | 2.745.600 | 4.160 |
| | | | Gerencia | 2.745.600 | 4.160 |
| Departamento de Comercialización | Gerencia | 2.745.600 | 4.160 | | |
| | Dirección Ejecutiva y Junta Directiva | - | 4.500.000 | 6.818 | |
| FEDECAÑA | - | Director Ejecutivo | 2.145.000 | 3.250 | |
| CÁMARA DE AZUCAREROS | - | Director Ejecutivo | 2.145.000 | 3.250 | |
| COTENAMA | - | Personal Técnico de Ingenios (14) | 24.324.300 | 36.855 | |
| | - | Personal Técnico de Cámaras Prod. (6) | 9.652.500 | 14.625 | |
| | - | Coord. Regionales DIECA | 8.880.300 | 13.455 | |
| TOTAL | - | - | 127.699.800 | 193.485 | |

Valor de cambio: ₡660/\$.

Fase de Pilotaje de la NAMA en el cultivo de la caña de azúcar, la cual tendrá una duración de 5 años. Dichos montos fueron calculados con base en el costo mensual de la jornada laboral de los colaboradores (incluyendo cargas sociales), en el número de colaboradores involucrados (entre paréntesis), y en una estimación porcentual de la jornada laboral aplicada durante todo el período. Asimismo, se incluyó una tasa inflacionaria y de aumento salarial del 2% anual. Se incluye dentro de esta contrapartida, los servicios de análisis de laboratorio para muestras en cuanto a microbiología del suelo que incluyen infraestructura, equipo y personal calificado; adicionalmente, incluye los costos de producción de los agentes de control biológico (parasitoides y hongos entomopatógenos), el biocarbón (biochar) y los biofertilizantes que serán aplicados en las FP. El monto total que representa la contrapartida del sector cañero-azucarero para esta fase asciende a los US\$1.099.614.



Cuadro 81.

Contrapartida del Sector Cañero-Azucarero para la Fase de pilotaje.

| Entidad | Departamento | Componentes (participantes) | Costo US\$ |
|---------------------------------------|----------------------------------|--|------------------|
| LAICA | DIECA | Coordinadores Regionales (6) | 77.800 |
| | | Jefes de Programa (4) | 60.887 |
| | | Gerencia | 36.081 |
| | | Especialista en caña de azúcar | 11.827 |
| | | Servicios de laboratorio (equipo, infraestructura, personal) | 104.081 |
| | | Insumos (agentes de CB, biocarbón, biofertilizantes) | 46.836 |
| | Departamento de Sostenibilidad | Gerencia | 36.081 |
| | | Jefe Sostenibilidad | 13.531 |
| | Departamento Técnico | Gerencia | 36.081 |
| | | Técnicos (6) | 54.122 |
| | Departamento de Mercadeo | Gerencia | 36.081 |
| | Departamento de Comercialización | Gerencia | 36.081 |
| Dirección Ejecutiva y Junta Directiva | - | 118.274 | |
| FEDECAÑA | - | Director Ejecutivo | 28.189 |
| CÁMARA DE AZUCAREROS | - | Director Ejecutivo | 28.189 |
| COTENAMA | - | Personal Técnico de Ingenios (14) | 213.105 |
| | - | Personal Técnico de Cámaras Prod. (6) | 84.566 |
| | - | Coord. Regionales DIECA | 77.800 |
| TOTAL | - | - | 1.099.614 |

* Incluye un ajuste salarial e inflacionario del 2% anual.

El Cuadro 82 muestra detalladamente los montos económicos según entidad y departamento, dentro del sector cañero-azucarero, utilizados para la Fase de Escalamiento de la NAMA en el cultivo de la caña de azúcar, la cual tendrá una duración de 7 años para alcanzar la meta de cobertura establecida en 45.571 ha. Dichos montos fueron calculados con base en el costo mensual de la jornada laboral de los colaboradores (incluyendo cargas sociales), en el número de colaboradores involucrados (entre paréntesis), y en una estimación porcentual de la jornada laboral aplicada durante todo el período. Asimismo, se incluyó una tasa inflacionaria y de aumento salarial del 2% anual. Se incluye dentro de esta contrapartida, los servicios de análisis de laboratorio para muestras en cuanto a microbiología del suelo que incluyen infraestructura, equipo y personal calificado; adicionalmente, incluye los costos de producción de los agentes de control biológico (parasitoides y hongos entomopatógenos), el biocarbón (biochar) y los biofertilizantes que serán aplicados en las fincas que vayan integrando el sistema NAMA (TESCA). El monto total que representa la contrapartida del sector cañero-azucarero para esta fase asciende a los US\$3.402.940.



Cuadro 82.

Contrapartida del Sector Cañero Azucarero para la Fase de escalamiento.

| Entidad | Departamento | Componentes (participantes) | Costo US\$ | |
|----------------------|---------------------------------------|--|---------------------|--------|
| DIECA | | Coordinadores Regionales (6) | 111.143 | |
| | | Jefes de Programa (4) | 86.981 | |
| | | Gerencia | 51.544 | |
| | | Especialista en caña de azúcar | 16.896 | |
| | | Servicios de laboratorio (equipo, infraestructura, personal) | 333.852 | |
| | | Insumos (agentes de CB, biocarbón, biofertilizantes) | 1.713.819 | |
| | | Departamento de Sostenibilidad | Gerencia | 51.544 |
| | | | Jefe Sostenibilidad | 19.329 |
| | | Departamento Técnico | Gerencia | 51.544 |
| | | | Técnicos (6) | 77.317 |
| LAICA | Departamento de Mercadeo | Gerencia | 51.544 | |
| | Departamento de Comercialización | Gerencia | 51.544 | |
| | Dirección Ejecutiva y Junta Directiva | - | 168.961 | |
| | FEDECAÑA | - | Director Ejecutivo | 40.269 |
| CÁMARA DE AZUCAREROS | - | Director Ejecutivo | 40.269 | |
| COTENAMA | - | Personal Técnico de Ingenios (14) | 304.434 | |
| | - | Personal Técnico de Cámaras Prod. (6) | 120.807 | |
| | - | Coord. Regionales DIECA | 111.143 | |
| TOTAL | - | - | 3.402.940 | |

* Incluye un ajuste salarial e inflacionario del 2% anual.

10.5. Fuentes potenciales de financiamiento

Existen en el entorno comercial, tecnológico y ambiental nacional e internacional, diversas fuentes potenciales donde acceder recursos financieros cuyo origen, destino, montos disponibles y condiciones son muy variables y diferentes de acuerdo con el fin procurado. Algunos de esos fondos se disponen y otorgan con el objeto de enfrentar los denominados "problemas ambientales globales", como son entre otros: el CC, la destrucción de la biodiversidad, el acrecentamiento del agujero en la capa de ozono (O₃) y la contaminación de las aguas internacionales, principios con los cuales los objetivos planteados por la NAMA Caña de Azúcar son afines y compatibles. Se busca primordialmente lograr inclusión y participación pública, transparencia, eficiencia y responsabilidad en su empleo.

El mercado ofrece recursos de carácter reembolsable y no reembolsable de origen gubernamental, no gubernamental (ONG) y hasta privado, los cuales en el presente caso se canalizan por diversas vías, como se muestra en la Figura 40, en la cual pueden constatarse varios elementos importantes y determinantes necesarios considerar para su correcta interpretación.

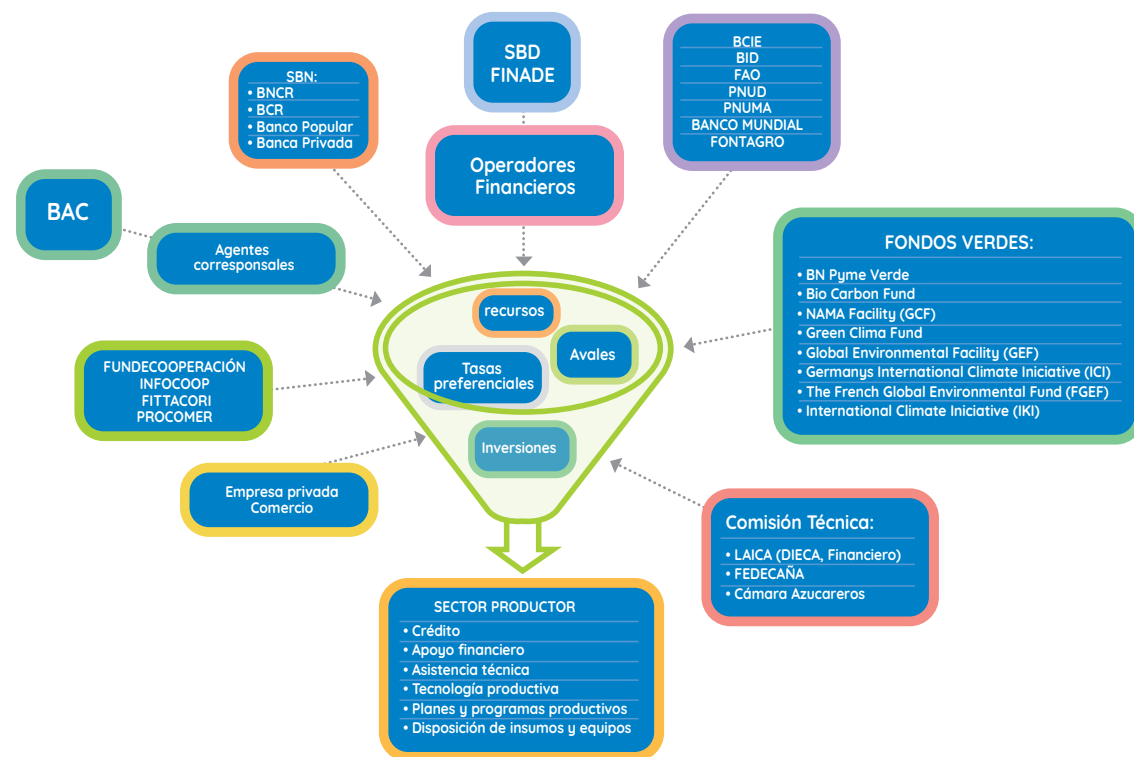


Figura 40.

Fuentes potenciales de financiamiento para el NAMA Caña de Azúcar.

Entre esos elementos que conforman el universo de posibilidades de financiamiento, se tienen y pueden mencionarse entre otros, los siguientes:

- El sector productor de caña de azúcar requiere necesaria e insoslayablemente de recursos económicos y logísticos para la implementación, operación, escalamiento, logro y mantenimiento de los objetivos y metas ambientales y productivas propuestas por la NAMA.
- El monto implicado en dichas transformaciones es muy variable dependiendo de la naturaleza del cambio, ajuste o mejora incorporada. Muchas implican una inversión muy baja, otras por su fondo y contenido, no.
- Dichos recursos involucran crédito accesible en condiciones favorables (tasa de interés preferencial, fondo de avales, garantías, tiempo, monto, etc.), apoyo financiero en todos los órdenes (inversión, operación), asistencia técnica especializada, tecnología productiva (paquetes tecnológicos) validada, viable y factible, implementación de planes y programas productivos consecuentes con la realidad, disposición oportuna y localizada de insumos y equipos necesarios, prestación de servicios técnicos, entre otros.
- Como se infiere y reconoce, para la implementación y operación de la iniciativa ambiental-productiva no solo se requiere contar con recursos financieros, sino también de condiciones apropiadas que aseguren su empleo y maximicen su beneficio.
- Existen diversas fuentes crediticias, proveedoras y donantes de recursos financieros nacionales e internacionales.
- Entre las fuentes con potencial de aporte más importante para financiar el proyecto ambiental propuesto se tiene el Sistema de Banca para el Desarrollo (SBD) sustentada en la Ley N° 8634 y sus Reglamentos, cuyos sujetos de crédito considera emprendedores, microempresas, Pymes, micro, pequeño y mediano productor agropecuario, modelos asociativos empresariales y beneficiarios de microcrédito. El Fideicomiso Nacional para el Desarrollo (FINADE) corresponde a los recursos propios del SBD que se emplean para la emisión de avales y para otorgar servicios de desarrollo empresarial y otras facilidades. Por ser una banca de segundo piso opera a través de Operadores Financieros que deben habilitarse. El sector cañero-azucarero cuenta con una importante experiencia y antecedente en torno a este fondo.
- La banca nacional representada en este caso por el Banco Nacional de Costa Rica (BNCR), Banco de Costa Rica (BCR) y Banco Popular y de Desarrollo Comunal, han tenido en diversas oportunidades vínculos crediticios con el sector cañero, operados por medio de programas orientados a promover el incremento a la productividad agroindustrial; lo cual constituye una interesante experiencia y oportunidad para establecer un programa

de financiamiento orientado a contribuir con el desarrollo de la NAMA. Deben buscarse y negociarse sectorialmente ventajas que lo distancien del crédito comercial tradicional.

- h. Algunas entidades de la banca privada han mostrado interés por incursionar en la actividad colocando crédito orientado a favorecer inversiones y operaciones en el campo productivo de la caña. Destaca en este sentido lo avanzado positivamente con el BAC Credomatic, con el cual se mantiene inclusive actualmente abierta y en operación una línea de crédito en esa dirección, que opera con condiciones muy favorables a través de los denominados Agentes Corresponsales.
- i. Se cuenta en el país con otras fuentes potenciales de recursos tramitados por medio de entidades públicas gubernamentales, como es el caso de Fundecooperación para el Desarrollo Sostenible (FUNDECOOPERACIÓN), la cual tiene establecida como misión institucional “Gestionar financiamiento orientado al desarrollo sostenible, por medio de programas innovadores, inclusivos y a la medida que se adecúen a las necesidades y oportunidades económicas, sociales y ambientales de las personas productoras de la micro, pequeña y mediana empresa en Costa Rica”. También el Instituto Nacional de Fomento Cooperativo (INFOCOOP) que es “una institución pública que fomenta, desarrolla, promueve, fortalece, financia y supervisa a las asociaciones cooperativas a través de recursos tecnológicos y financieros”, entre los cuales los destinados a fines ambientales y agroproductivos son factibles. Asimismo, la Promotora de Comercio Exterior de Costa Rica (PROCOMER), representa sin lugar a duda una interesante opción virtud del apoyo que, como entidad pública presta a las empresas costarricenses, por medio de la cual se pueden identificar interesantes fuentes de recursos internacionales destinados a fines ambientales.
- j. La Fundación para el Fomento y Promoción de la Investigación y Transferencia de Tecnología Agropecuaria de Costa Rica (FITTACORI), es una fundación privada de utilidad pública, sin fines de lucro, que se financia con recursos provenientes del Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG) y de otras instituciones. Ha sido por antecedente y tradición un importante ente financiero vinculado al Sistema Nacional de Investigación y Transferencia de Tecnología Agropecuaria (SNITTA), por medio del cual se da apoyo financiero a proyectos tecnológicos. Actualmente presenta limitaciones financieras en su ejercicio institucional.
- k. No puede dejar de mencionarse el apoyo y aporte que la empresa privada, principalmente ligada al comercio de insumos, materiales, equipos y maquinaria pueda proveer al NAMA; esto por cuanto como ha sido reiteradamente mencionado, la relación y vínculo del sector cañero con los fertilizantes, las enmiendas, los agroquímicos y productos naturales (bioinsumos), la mecanización eficiente, la agricultura de precisión,

entre otros, abre un interesante espacio al apoyo, la colaboración, el trabajo compartido y el cofinanciamiento en esas áreas de trabajo.

- l. En el espacio internacional son numerosas y muy reconocidas las entidades que recogen, concentran y canalizan recursos para el desarrollo de emprendimientos y esfuerzos por el bienestar de la humanidad y la calidad de vida, particularmente en este caso asociados con temas relacionados con el ambiente, la biodiversidad, los recursos naturales, el cambio climático, el calentamiento global, entre otros. Entre las mismas se tiene entidades jurídicas de carácter internacional, como acontece con el Banco Centroamericano de Integración Económica (BCIE), el Banco Interamericano de Desarrollo (BID), la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), el Banco Mundial. De particular interés se visualiza el Fondo Regional de Tecnología Agropecuaria (FONTAGRO), como mecanismo único de subvenciones y cofinanciamiento sostenible para el desarrollo de tecnología agropecuaria en América Latina, el Caribe y España en temas prioritarios de innovación tecnológica. Los esfuerzos por la adaptación y mitigación ambiental tienen especial interés para este organismo.
- m. El tema de los Fondos Verdes adquiere especial relevancia virtud de la coincidencia y relación de las materias tratadas y los fines procurados, pudiéndose identificar una gran cantidad de opciones de apoyo financiero, logístico y tecnológico. Entre esas instancias pueden mencionarse las siguientes: Bio Carbon Fund (ISFL), NAMA Facility (GCF), Green Clima Fund (GCF), Global Environmental Facility (GEF), Germanys International Climate Initiative (ICI), International Climate Initiative (IKI) y The French Global Environmental Fund (FGEF). Especial mención tiene el Programa BN PYME VERDE desarrollado en el país por el BNCR, por medio del cual es posible implementar planes de inversión amigables con el medio ambiente.
- n. Es importante reconocer que para el acceso a esos recursos debe contarse con el aval, reconocimiento y apoyo de los Ministerios de Ambiente y Energía (MINAE) y Agricultura y Ganadería (MAG), lo cual va en alineamiento con el Plan Nacional de Descarbonización 2018-2050. La NAMA Caña de Azúcar cumple con esa exigencia.
- o. El mecanismo de financiamiento propuesto implementar (Figura 6) cuenta con la importante e invaluable ventaja de contar con una Comisión Técnica Sectorial de muy alto nivel y con poder decisorio, conformada por representantes calificados de la Liga Agrícola Industrial de la Caña de Azúcar (LAICA), la Federación de Cámaras de Productores de Caña (FEDECAÑA) y la Cámara de Azucareros como organismos líderes del sector. Su misión y objetivo es apoyar y representar al sector en las gestiones de

solicitud, trámite, canalización de recursos, apoyo técnico y logístico en las áreas de su competencia, con lo cual se asegura la transparencia, eficiencia y agilidad en el buen uso de los recursos asignados. La participación de LAICA por medio de sus Departamentos especializados en este caso DIECA, Técnico, Financiero, Legal y de Mercadeo y Comercialización, resulta esencial para el éxito de la iniciativa. Tampoco puede dejar de mencionarse el apoyo financiero que LAICA presta de manera presupuestaria para la operación ordinaria de sus programas, entre ellos los de carácter ambiental, tecnológico, de sostenibilidad y capacitación.

Como es entendible, cada organismo oferente de recursos financieros tiene objetivos y metas diferentes que cumplir, las cuales deben ser necesariamente atendidas y satisfechas, motivo por el cual la solicitud y canalización de recursos económicos para la implementación de la NAMA Caña de Azúcar va en estrecho alineamiento directo con los mismos.



Literatura citada

1. Angulo Marchena, A.; Rodríguez Rodríguez, M.; Chaves Solera, M.A. 2020. **Guía Técnica. Cultivo Caña de Azúcar.** Región: Guanacaste. San José, Costa Rica. LAICA-DIECA, diciembre. 78 p.
2. Barrantes Mora, J.C.; Chaves Solera, M.A. 2020. **Guía Técnica. Cultivo Caña de Azúcar. Región: Sur.** San José, Costa Rica. LAICA-DIECA, diciembre. 75 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. Calderón Araya, G.; Chaves Solera, M.A. 2020. **Guía Técnica. Cultivo Caña de Azúcar. Región: Turrialba.** San José, Costa Rica. LAICA-DIECA, diciembre. 95 p.
5. Costa Rica. 2019. **Plan Nacional de Descarbonización. Gobierno de la República 2018-2050.** San José, Costa Rica. Gobierno del Bicentenario 2018-2022. 103 p.
6. 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.
7. Chaves, M. 1999a. **La práctica del encalado de los suelos cañeros en Costa Rica.** En: Congreso de ATACORI "Randall E. Mora A.", 13, Carrillo, Guanacaste, Costa Rica, 1999. Memoria. San José, Asociación de Técnicos Azucareros de Costa Rica (ATACORI), setiembre. p: 216-223.
8. Chaves, M. 1999b. **Nutrición y fertilización de la caña de azúcar en Costa Rica.** En: Congreso Nacional Agronómico y de Recursos Naturales, 11, San José, Costa Rica, 1999. Memoria: *Recursos Naturales y Producción Animal.* San José, Colegio de Ingenieros Agrónomos: EUNED, julio. Volumen III. p: 193-214. *También en:* Participación de DIECA en el XI Congreso Nacional Agronómico y de Recursos Naturales. San José, Costa Rica. LAICA-DIECA, julio 1999. p: 46-67.
9. Chaves Solera, M. 2002. **Corrección de suelos ácidos para cultivar caña de azúcar.** San José, Costa Rica. LAICA-DIECA, julio. 8 p.
10. Chaves Solera, M. 2011a. **Impacto de las lluvias y las inundaciones sobre la caña de azúcar en Costa Rica.** San José, Costa Rica. LAICA-DIECA, setiembre. 14 p.

11. Chaves Solera, M. 2011b. **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.
12. Chaves Solera, M. 2011c. **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.
13. Chaves Solera, M. 2011d. **Crédito para el productor de caña de azúcar.** San José, Costa Rica. LAICA-DIECA, noviembre. 12 p.
14. Chaves Solera, M.; Bermúdez Acuña, L. 2013. **Informe de avance. Componente de crédito al productor. Programa nacional de reactivación de la caña de azúcar.** San José, Costa Rica. LAICA-DIECA, enero. 23 p.
15. Chaves Solera, M. 2015a. **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.
16. Chaves Solera, M.A. 2015b. **1940: inicio de la historia institucional del sector azucarero costarricense.** San José, Costa Rica. LAICA-DIECA, agosto. 28 p.
17. Chaves Solera, M.A. 2015c. **1965-2015: 50 años de la creación de LAICA.** San José, Costa Rica. LAICA-DIECA, noviembre. 33 p.
18. Chaves Solera, M.A. 2017a. **La Caña de Azúcar en el Censo Nacional Agropecuario Costarricense Año 2014: presentación de resultados.** San José, Costa Rica. LAICA-DIECA, marzo. 41 p.
19. Chaves Solera, M.A. 2017b. **Taxonomía de los suelos sembrados con caña de azúcar en Costa Rica: Ordenes y Subordenes presentes.** En: Congreso de Técnicos Azucareros de Centroamérica (ATACA), 21 y Congreso de la Asociación de Técnicos Azucareros de Honduras (ATAHON), 20, San Pedro Sula, Honduras, 2017. Memorias. San Pedro Sula, Honduras, ATACA/ATAHON, agosto 22 al 25, Centro de Convenciones Copantl. 14 p.
20. Chaves Solera, M.A. 2017c. **Suelos, nutrición y fertilización de la caña de azúcar en Costa Rica.** En: Seminario Internacional Producción y Optimización de la Sacarosa en el Proceso Agroindustrial, 1, Puntarenas, Costa Rica, 2017. Memoria Digital. San José, Costa Rica, Asociación de Técnicos Azucareros de Costa Rica (ATACORI), octubre 10 al 12, Hotel Double Tree Resort by Hilton. 38 p.
21. Chaves Solera, M.A. 2017d. **La compactación de suelos en la caña de azúcar.** Revista Entre Cañeros N° 9. Revista del Departamento de Investigación y Extensión de la Caña de Azúcar (DIECA). San José, Costa Rica, diciembre. p: 33-48.
22. Chaves Solera, M.A.; Chavarría Soto, E. 2017a. **Tipos de suelo y producción de caña de azúcar en Costa Rica: Primera aproximación taxonómica.** En: Congreso Nacional de Suelos, 9, San José, Costa Rica, 2017. Memorias. San José, Costa Rica, Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo (ACCS), octubre 25 al 27, Hotel Crowne Plaza San José Corobici. 6 p.
23. Chaves Solera, M.A.; Chavarría Soto, E. 2017b. **Aproximación taxonómica y territorial de los suelos sembrados con caña de azúcar en Costa Rica. I. ORDENES DE SUELO.** San José, Costa Rica. LAICA-DIECA, mayo. 55 p.
24. Chaves Solera, M.A.; Bermúdez Acuña, L.; Méndez Pérez, D.; Bolaños De Ford, F. 2018. **Medición de los indicadores de calidad de la materia prima procesada por los Ingenios azucareros de Costa Rica durante el Periodo 2004-2016 (13 zafras).** En: Seminario Internacional Producción y Optimización de la Sacarosa en el Proceso Agroindustrial, 2, Puntarenas, Costa Rica, 2018. Memoria Digital. San José, Costa Rica, Asociación de Técnicos Azucareros de Costa Rica (ATACORI), junio 5 al 7, Hotel Double Tree Resort by Hilton. 75 p. *También en:* Congreso Tecnológico DIECA 2018, 7, Colegio Agropecuario de Santa Clara, Florencia, San Carlos, Alajuela, Costa Rica. Memoria. Departamento de Investigación y Extensión de la Caña de Azúcar (DIECA), 29, 30 y 31 de agosto del 2018. 75 p.
25. Chaves Solera, M.A.; Bolaños Porras, J.; Barrantes Mora, J.C.; Calderón Araya, G.; Rodríguez Rodríguez, M.; Angulo Marchena, M.; Barquero Madrigal, E. 2019. **Problemas y limitantes del productor de caña de azúcar en Costa Rica: opinión del agricultor.** San José, Costa Rica. LAICA-DIECA, mayo. 122 p.
26. Chaves Solera, M.A. 2019a. **Entornos y condiciones edafoclimáticas potenciales para la producción de caña de azúcar orgánica en Costa Rica.** En: Seminario Internacional: *Técnicas y normativas para producción, elaboración, certificación y comercialización de azúcar orgánica.* Hotel Condovac La Costa, Carrillo, Guanacaste, Costa Rica, 2019. Memoria Digital. San José, Costa Rica, Asociación de Técnicos Azucareros de Costa Rica (ATACORI), 15, 16 y 17 de octubre, 2019. 114 p.

27. Chaves Solera, M.A. 2019b. **Clima y ciclo vegetativo de la caña de azúcar.** Boletín Agroclimático (Costa Rica) 1(7): 5-6, julio.
28. Chaves Solera, M.A. 2019c. **Relación agua-suelo en la caña de azúcar.** Boletín Agroclimático (Costa Rica) 1(10): 5-7, agosto-setiembre.
29. Chaves Solera, M.A. 2019d. **Clima, maduración y concentración de sacarosa en la caña de azúcar.** Boletín Agroclimático (Costa Rica) 1(15): 5-8, octubre-noviembre.
30. Chaves Solera, M.A. 2019e. **Temperatura, desarrollo y concentración de sacarosa en la caña de azúcar.** Boletín Agroclimático (Costa Rica) 1(16): 5-9, octubre-noviembre.
31. Chaves Solera, M.A. 2019f. **Incidencia de las bajas temperaturas en la concentración de sacarosa en la caña de azúcar: el caso de Costa Rica.** Boletín Agroclimático (Costa Rica) 1(17): 6-10, noviembre-diciembre. p: 6-10.
32. Chaves Solera, M.A. 2019g. **Ambiente agroclimático y producción de caña de azúcar en Costa Rica.** Boletín Agroclimático (Costa Rica) 1(18): 5-10, noviembre-diciembre.
33. Chaves Solera, M.A. 2019h. **Clima, cosecha de caña y fabricación de azúcar en Costa Rica.** Boletín Agroclimático (Costa Rica) 1(19): 5-10, noviembre-diciembre.
34. Chaves Solera, M.A. 2019i. **Lluvia: imperativo para corregir la acidez de los suelos para cultivar caña de azúcar.** Boletín Agroclimático (Costa Rica) 2(2): 4-5, mayo.
35. Chaves Solera, M.A. 2020a. **Implicaciones del clima en la calidad de la materia prima caña de azúcar.** Boletín Agroclimático (Costa Rica) 2(1): 5-12, enero.
36. Chaves Solera, MA. 2020b. **Arrancó la cosecha de caña y la fabricación de azúcar en Costa Rica ¡El tiempo, constituye un factor determinante a considerar y tener presente en esta operación agroindustrial!** Revista Entre Cañeros N° 14. Revista del Departamento de Investigación y Extensión de la Caña de Azúcar (DIECA). San José, Costa Rica, marzo. p: 4-19.
37. Chaves Solera, M.A. 2020c. **Estrés por calor en la caña de azúcar en Costa Rica.** Boletín Agroclimático (Costa Rica) 2(5): 5-12, marzo.
38. Chaves Solera, M.A. 2020d. **Estrés por frío en la caña de azúcar en Costa Rica.** Boletín Agroclimático (Costa Rica) 2(7): 6-16, marzo-abril.
39. Chaves Solera, M.A. 2020e. **Estrés hídrico en la caña de azúcar en Costa Rica.** Boletín Agroclimático (Costa Rica) 2(8): 5-16, abril.

40. Chaves Solera, M.A. 2020f. **Estrés por viento en la caña de azúcar en Costa Rica.** Boletín Agroclimático (Costa Rica) 2(9): 4-15, abril.
41. Chaves Solera, M.; Bolaños Porras, J.; Barrantes Mora, J.C.; Rodríguez Rodríguez, M.; Angulo Marchena, A.; Barquero Madrigal, E.; Calderón Araya, G. 2020. **Censo de variedades de caña de azúcar de Costa Rica año 2019.** San José, Costa Rica. LAICA-DIECA, abril. 166 p.
42. Chaves Solera, M.A. 2020g. **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.
43. Chaves Solera, M.A. 2020k. **Clima, degradación del suelo y productividad agroindustrial de la caña de azúcar en Costa Rica.** Boletín Agroclimático (Costa Rica) 2(15): 5-13, julio.
44. Chaves Solera, M.A. 2020o. **Materia orgánica y disponibilidad de nitrógeno para la caña de azúcar.** Boletín Agroclimático (Costa Rica) 2(21): 6-16, octubre.
45. Chaves Solera, M.A. 2020p. **Abono verde, consociación y rotación de cultivos en caña de azúcar.** Boletín Agroclimático (Costa Rica) 2(22): 5-19, octubre.
46. Chaves Solera, M.A. 2020q. **Agroclimatología y producción competitiva de caña de azúcar en Costa Rica.** Boletín Agroclimático (Costa Rica) 2(24): 5-13, noviembre.
47. Chaves Solera, M.A. 2020r. **Principios conservacionistas aplicados a la caña de azúcar.** Boletín Agroclimático (Costa Rica) 2(25): 6-14, diciembre.
48. Chaves Solera, M.A. 2020s. **Ambientes climáticos y producción competitiva de la caña de azúcar en Costa Rica.** Boletín Agroclimático (Costa Rica) 2(26): 5-12, diciembre-enero.
49. Chaves Solera, M.A.; Bermúdez Loría, A.Z. 2020. **80 Años de Vida Institucional del Sector Cañero-Azucarero Costarricense: Breve Recorrido por su Historia.** Revista Entre Cañeros N° 16. Revista del Departamento de Investigación y Extensión de la Caña de Azúcar (DIECA). San José, Costa Rica, agosto. 37 p.
50. Chaves Solera, M.A.; Barquero Madrigal, E. 2020. **Guía Técnica. Cultivo Caña de Azúcar. Región: Zona Norte.** San José, Costa Rica. LAICA-DIECA, diciembre. 135 p.
51. Chaves Solera, M.A. 2021a. **Indicadores históricos de producción y productividad de la agroindustria azucarera costarricense: análisis del periodo 1969-2019 (51 zafras).** Revista Entre Cañeros N° 19. Revista del Departamento de Investigación y Extensión de la Caña de Azúcar (DIECA). San José, Costa Rica, marzo. p: 9-67.

52. Chaves Solera, M.A. 2021b. **Deterioro de las variedades de caña de azúcar de uso comercial en Costa Rica: afectación por clima.** Boletín Agroclimático (Costa Rica) 3(8): 5-20, abril.
53. Chaves Solera, M.A. 2021c. **Pérdida de material vegetativo productivo y resiembra de caña de azúcar.** Boletín Agroclimático (Costa Rica) 3(9): 5-15, abril.
54. Chaves Solera, M.A. 2021d. **Estrés mineral y caña de azúcar en Costa Rica.** Boletín Agroclimático (Costa Rica) 3(11): 5-21, mayo.
55. Chaves Solera, M.A. 2021e. **Principios generales de la nutrición y fertilización de cultivos.** San José, Costa Rica. Presentada en evento organizado por el Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG) de la Región de Desarrollo Brunca, San Isidro de El General, con motivo de celebrar la “Jornada Agropecuaria Virtual”, mayo. Presentación Electrónica en Power Point. 80 láminas.
56. Chaves Solera, M.A. 2021f. **Caña de azúcar: una planta rústica pero sensible al ambiente.** San José, Costa Rica. Exposición realizada con motivo de celebrar la “Semana Ambiental”, organizada por la Federación de Estudiantes de la Universidad de Costa Rica (FEUCR), junio. Presentación Electrónica en Power Point. 101 láminas.
57. Chaves Solera, M.A. 2021m. **Aluminio: un elemento contraproducente para la productividad y rentabilidad de la caña de azúcar.** Revista Entre Cañeros N° 21. Revista del Departamento de Investigación y Extensión de la Caña de Azúcar (DIECA). San José, Costa Rica, septiembre. p: 5-45.
58. Chaves Solera, M.A. 2021p. **Fertilizantes de liberación controlada, lenta y estabilizados para uso en la caña de azúcar.** Boletín Agroclimático (Costa Rica) 3(25): 6-23, noviembre-diciembre.
59. Chaves Solera, M.A. 2021q. **Sugerencias y recomendaciones para el uso óptimo de fertilizantes en la caña de azúcar.** Boletín Agroclimático (Costa Rica) 3(26): 8- 23, diciembre.
60. Montenegro Ballesteros, J.; Chaves Solera, M. 2021. **Efecto de la quema en caña de azúcar sobre el Carbono de un Andisol.** Revista Alcances Tecnológicos INTA (Costa Rica) 14(1):31-48.
61. Chaves Solera, M.A.; Chavarría Soto, E. 2021a. **Distribución geográfica de las plantaciones comerciales de caña de azúcar en Costa Rica según altitud y localidad.** Revista Entre Cañeros N° 20. Revista del Departamento de Investigación y Extensión de la Caña de Azúcar (DIECA). San José, Costa Rica, julio. p: 5-35.
62. Chaves Solera, M.A.; Chavarría Soto, E. 2021b. **Estimación del área sembrada con caña de azúcar en Costa Rica según región productora. Periodo 1985 - 2020 (36 Zafras).** Revista Entre Cañeros N° 22. Revista del Departamento de Investigación y Extensión de la Caña de Azúcar (DIECA). San José, Costa Rica, diciembre. p: 5-39.
63. Chaves Solera, M.A. 2022a. **Área sembrada con caña de azúcar en Costa Rica según región productora.** Periodo 2010 - 2020 (11 zafras). Boletín Agroclimático (Costa Rica) 4(2): 6-27, enero.
64. Chaves Solera, M.A. 2022b. **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.
65. Chaves Solera, M.A. 2022c. **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.
66. Chaves Solera, M.A. 2022d. **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.
67. Chaves Solera, M.A. 2022f. **Retos tecnológicos de la agroindustria azucarera costarricense en procura de lograr la ecoeficiencia y la eco-competitividad comercial.** Boletín Agroclimático (Costa Rica) 4(12): 5-21, junio.
68. 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.
69. Hartmann-Petersen, P.; Pigford, J.N. 1991. **Diccionario de las Ciencias.** Madrid, España. Editorial Paraninfo. 607 p.
70. 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.
71. 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.

72. IPCC. 2019. **IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories**. Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme.
73. 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.
74. 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.
75. 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.).
76. Mata, A.; Quevedo, F. 1990. **Diccionario Didáctico de Ecología**. 1era ed. San José, CR: Editorial de la Universidad de Costa Rica. 387 p.
77. Méndez, JC.; Bertch Hernández, F. 2012. **Guía para la interpretación de la fertilidad de los suelos de Costa Rica**. 1ed. San José, costa Rica: Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo (ACCS). 108 p.
78. Montenegro Ballester, 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 Ballester. San José, C.R.: MAG/INTA. p: 5-26.
79. Montenegro Ballester, J.; Chaves Solera, M. 2022. **Análisis de ciclo de vida para la producción primaria de caña de azúcar en seis regiones de Costa Rica**. Revista de Ciencias Ambientales (UNA). Vol 56(5): 96-119. Enero-Junio.
80. Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. 1990. **Vocabulario Científico y Técnico**. Madrid, España. Editorial Espasa-Calpe. 749 p.
81. 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.
82. SEPSA. 2021. **Boletín Estadístico Agropecuario. Serie Cronológica 2017-2020**. Edición N° 31. San José, Costa Rica. Secretaría Ejecutiva de Planificación Sectorial Agropecuaria, abril.
83. USDA (Departamento de Agricultura de los Estados Unidos). 2014. **Claves para la taxonomía de suelos (en línea)**. 12 ed. Washington, D. C., Estados Unidos, NRCS. Consultado 15 jul. 2017. Disponible en: http://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/nrcs142p2_051546.pdf
84. Vallejo, M.; Chávez, M.; Solano, Z.; Chacón, M.; Montenegro, J. 2021. 104. **Lineamientos para el Diseño de NAMA Caña de Azúcar (Nota Conceptual)**. San José, Costa Rica. MAG/LAICA/FEDECANA/AFD. 64 p.



