

Acciones de Mitigación Nacionalmente Apropriadas (NAMA) en el cultivo de caña de azúcar para la producción ambientalmente sostenible en Costa Rica.

Erick Chavarría Soto¹

1. Resumen

La NAMA Caña de Azúcar es un proyecto en el que el sector azucarero costarricense se involucra de lleno en ejecutar acciones amigables con el ambiente para reducir los efectos de la actividad al cambio climático en el sector uno de la cadena de valor. Este proyecto se alinea al 100% con el Plan Nacional de Descarbonización que formuló el país para cumplir con los acuerdos firmados en París, Francia, en diciembre del 2015; y que a su vez opera dentro la Convención Marco para el Cambio Climático de las Naciones Unidas (UNFCC). Como parte de las estrategias, el sector definió tecnologías a implementar para la mitigación de las emisiones y formuló un Plan Piloto (PLP) que se inició en el 2025 con el establecimiento de 6 fincas piloto intervenidas con paquetes tecnológicos tendientes a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) a la atmósfera. Previo al establecimiento del PLP, se ejecutaron unas pruebas preliminares de campo (PPC) para hacer una evaluación previa del potencial de las tecnologías NAMA seleccionadas. Como resultados de la PPC, se pudo determinar que es factible obtener reducciones generales del 8% en las emisiones totales y de alrededor del 13% en las emisiones promedio por tonelada de caña producida, lo que las coloca dentro de las metas generales. Estos valores no son oficiales, son muy preliminares y se deberán verificar, validar y acreditar durante la ejecución del plan piloto.

2. Introducción

En diciembre del 2015, en Francia, 195 países (incluido Costa Rica) firman los Acuerdos de París donde se comprometen a promover y financiar iniciativas orientadas a un futuro de bajo carbono, resiliente y sostenible. NAMA son las siglas en inglés de lo que significa “acciones nacionales apropiadas de mitigación”. Se define NAMA como las políticas dirigidas a un cambio transformador dentro de un sector económico (o todos los sectores para un enfoque nacional más amplio), que involucren acciones que reduzcan las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) en los países en desarrollo (2022). Operan dentro de la Convención Marco para el Cambio Climático de las Naciones Unidas (UNFCC) que inició operaciones a partir de la Cumbre de Río en 1992, Río de Janeiro, Brasil.

¹ Departamento de Investigación y Extensión de la Caña de Azúcar (DIECA), Liga Agrícola Industrial de la Caña de Azúcar (LAICA), Costa Rica. Correo – e: echavarrria@laica.co.cr.

Sharma y Desgain (Desgain & Sharma, 2013) manifiestan que la “NAMA se puede considerar como una herramienta para que los países en desarrollo aprovechen las oportunidades para lograr la desviación de las emisiones BAU² y transformar el desarrollo hacia rutas de bajas emisiones...”. La secretaría de la UNCC (2022) conceptualiza las NAMA’s como un conjunto de “políticas dirigidas a un cambio transformacional dentro de un sector económico, o acciones entre sectores para un enfoque nacional más amplio. Las NAMA’s son apoyadas y habilitadas por la tecnología, el financiamiento y la creación de capacidades, y tienen como objetivo lograr una reducción de las emisiones en relación con las emisiones de ‘negocios como de costumbre’...”.

Las NAMA’s para el caso de Costa Rica se alinean con el Plan Nacional de Descarbonización. Costa Rica determinó en el Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero (INGEI) del 2021, que las principales actividades económicas que más contribuyen con las emisiones de GEI’s son el sector energía (55,1%) y la agricultura (20,5%), tal y como se puede observar en la Figura 1 (Gobierno de Costa Rica, 2024). La Figura 2 muestra que para el año 2021 el cultivo de la caña de azúcar ocupa un lugar importante en extensión, lo que la constituye una de las principales cadenas de valor del sector agrícola del país, superada por las actividades de palma aceitera café y pastos para ganadería.

De acuerdo a los datos del INGEI (2024), para el 2017 el cultivo de la caña de azúcar ocupó el primer lugar en emisiones totales anuales de óxido nitroso (N₂O) a la atmósfera alcanzando valores de 0,269 Gg ³, seguido por los cultivos del café y banano con 0,181 y 0,172 respectivamente. La mayor parte del N₂O que se libera a la atmósfera en las plantaciones de caña de azúcar provienen directamente del uso de fertilizantes nitrogenados, necesarios para el proceso de producción eficiente y económicamente sostenible para la actividad, no obstante, esta importante contribución a las emisiones de GEI’s totales, señalan al sector cañero – azucarero como una cadena de valor a ser tomada en cuenta en el Plan Nacional de Descarbonización (2018).

² BAU: forma abreviada de la expresión en inglés “business as usual” que significa “como siempre” en referencia a lo cotidiano dentro del ámbito normal de una actividad cualquiera.

³ Gg: símbolo de gigagramos. Un gigagramo equivale a 1.000 toneladas (t) métricas. Un valor de 0,265 Gg N₂O equivale a 265 t.

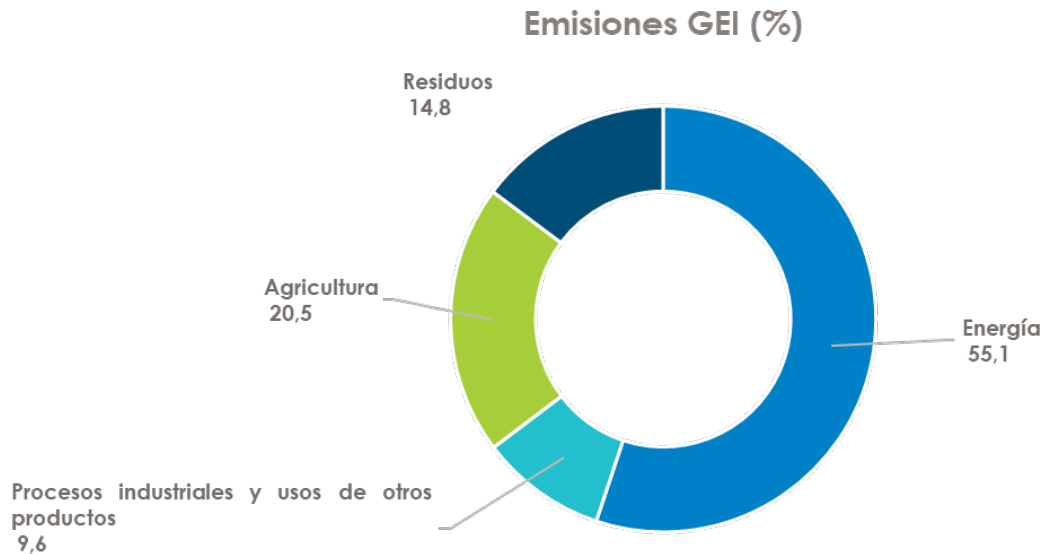


Figura 1

Distribución de las emisiones de gases de efecto invernadero por sector económico de Costa Rica en 2017. Fuente: Gobierno de Costa Rica, 2024.

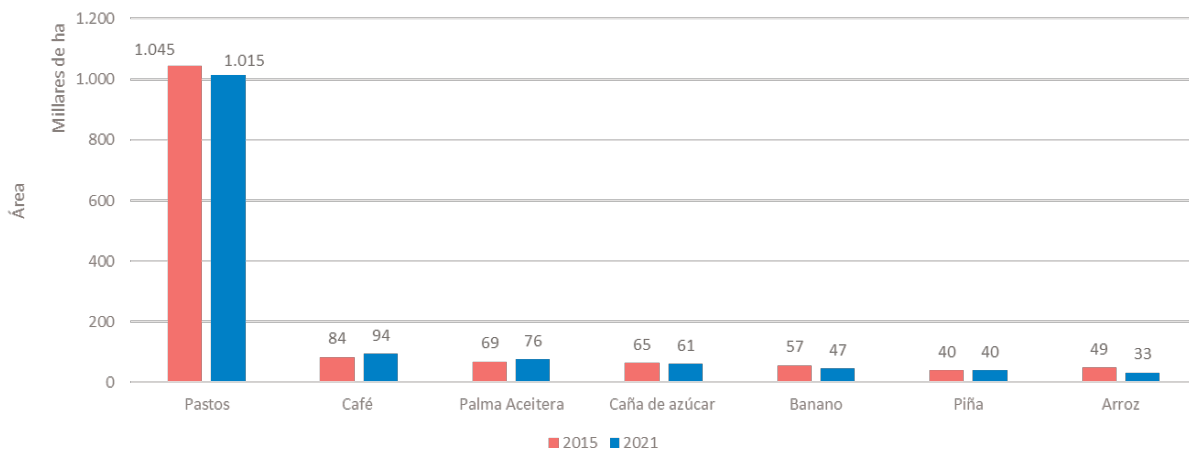


Figura 2

Principales actividades agrícolas extensivas en Costa Rica, abril del 2021. Fuente: SEPSA, 2021.

La NAMA caña de azúcar tiene como objetivo la identificación, promoción e implementación de buenas prácticas agrícolas y acciones tecnológicas estratégicas que le permitan a la

agroindustria cañero azucarera costarricense, aspirar a un **incremento de sus niveles de productividad agrícola** y fabril en un marco de eco eficiencia ambiental, rentabilidad económica y beneficio social incorporando medidas que contribuyan a la mitigación de los GEI, adaptando los diferentes sistemas agroproductivos prevaecientes en el país, a las complejas condiciones impuestas por el cambio climático

Como objetivos específicos plantea:

- a) Construir capacidades orientadas a **mejorar la productividad agrícola** e industrial del cultivo de la caña de azúcar con enfoque agroclimático, en un marco de sostenibilidad y ecoeficiencia considerando los diferentes sistemas de producción existentes.
- b) Establecer metas ambientales de la agrocadena de caña para la mitigación de GEI.
- c) Incrementar la resiliencia de la cadena agroindustrial de la caña ante el cambio climático.
- d) Elevar la eficiencia de los procesos productivos y fabriles reduciendo costos y aumentando la rentabilidad.
- e) Trabajar en la generación de cobeneficios que favorezcan a la familia rural productora de caña de azúcar.

La NAMA Caña de Azúcar proyecta en el término de 10 años continuos a partir del inicio del programa, cumplir con la expectativa implementar prácticas de mitigación de GEI en el 75% del área nacional cultivada con caña de azúcar, que se estimada alcanzan las 45.501 hectáreas (Figura 3). Las metas de implementación estarán basadas en tres escenarios de mitigación que se definidas a partir de los resultados de la línea base establecida desde de los datos de actividad del sector.

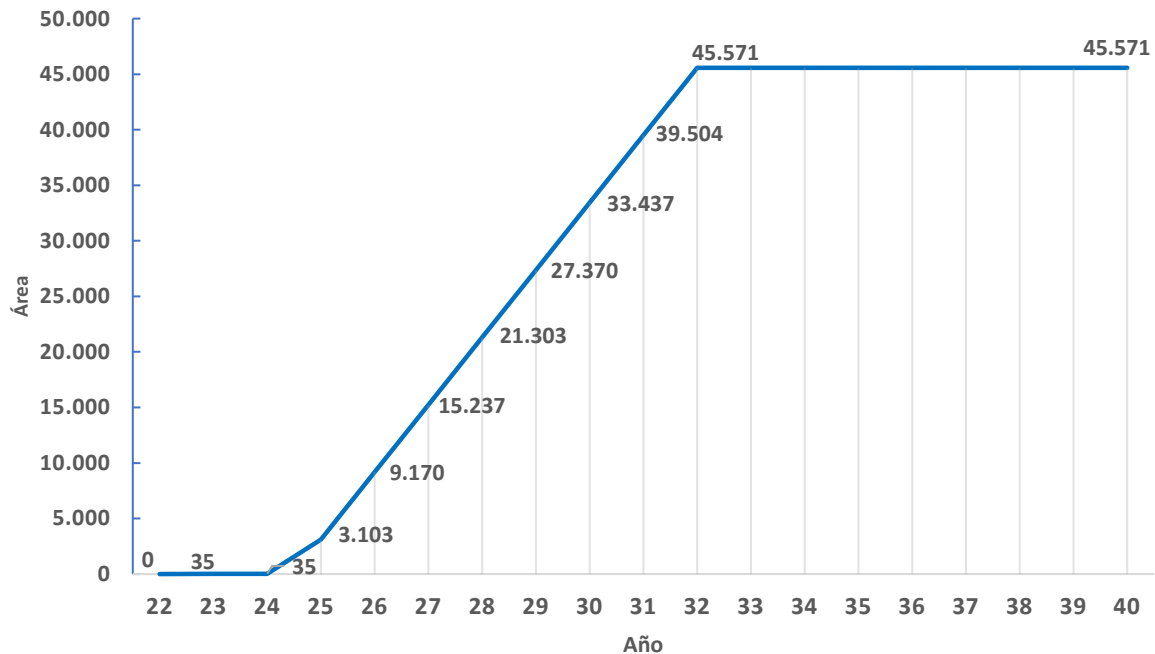


Figura 3

Progreso en el tiempo de la cobertura del área (ha) nacional sembrada con caña de azúcar en la implementación de prácticas para la mitigación de GEI, según la propuesta establecida en la NAMA Caña de Azúcar de Costa Rica.

La línea base consiste en un diagnóstico del sector cañero azucarero en un momento determinado en el tiempo, una analogía apropiada puede ser el de una “fotografía” de la actividad en un periodo previo al de la formulación de la NAMA, en donde se incluyen todas las actividades ejecutadas, prácticas recomendadas que se aplican de rutina, y la detección de las fuentes de emisiones de los GEI.

De acuerdo al Gobierno de Costa Rica (2024), los principales gases de efecto invernadero para la actividad agrícola lo constituyen:

- 1) El dióxido de carbono (CO₂).
- 2) El óxido nitroso (N₂O).
- 3) El metano (CH₄).

Las emisiones de los GEI se contabilizan realizando la conversión a lo que se conoce como unidades de dióxido de carbono equivalente (CO₂eq) para poder comparar entre sí, y la conversión se realiza de acuerdo al valor de potencial de calentamiento global para cada uno de los gases, en donde el CO₂ constituye la unidad básica con un valor de 1 (Cuadro 1).

Cuadro 1

Potenciales de calentamiento global usados en el inventario 2021 (Gobierno de Costa Rica, 2024).

Gases de efecto invernadero	Potencial de calentamiento global (PCG)
CO ₂	1
CH ₄	21
N ₂ O	310
HFC-32	650
HFC-125	2.800
HFC-134a	1.300
HFC-143a	3.800
HFC-152	140
HFC 23	11.700
SF ₆	23.900

El Cuadro 2 detalla el resultado del diagnóstico que se realizó en el sector azucarero para determinar las fuentes generales de los GEI emitidos por el sector primario, en el Cuadro 2 se muestran las fuentes de emisión y la contribución en emisiones de CO_{2eq} a la atmósfera de acuerdo a los datos recolectados para la zafra 2020 – 2021. La Figura 4 muestra la distribución porcentual de los GEI en los principales componentes. Los datos del Cuadro 2 representan el parámetro de línea base a partir del cual se contrastarán las medidas que se adopten en la implementación de la NAMA Caña de Azúcar.

Cuadro 2

Emisión GEI (Gg CO_{2eq}) en la producción de caña de azúcar en Costa Rica según la fuente identificada (LAICA, 2022).

Fuente de Emisión	Periodo 2020-21
Fertilizante nitrogenado	74,8
Combustibles fósiles	21,5
Quema de biomasa	18,6
Enmiendas	2,5
Total	117,5

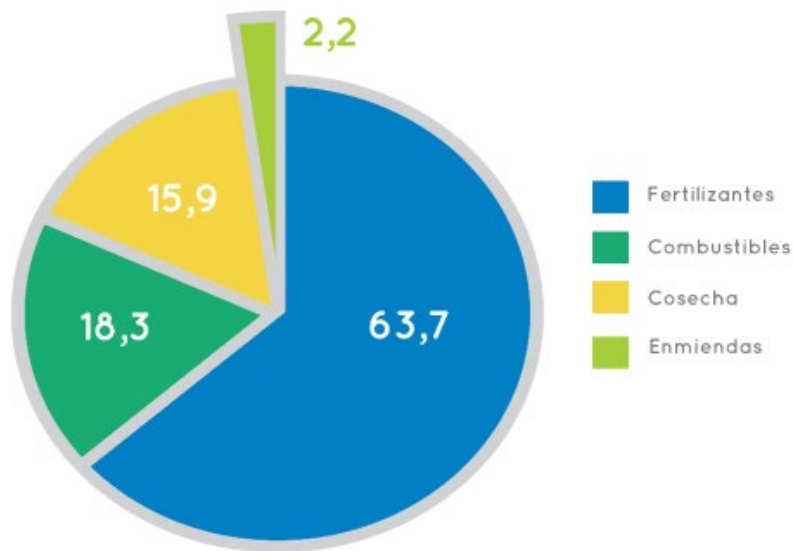


Figura 4

Distribución porcentual de las emisiones GEI en la producción de caña de azúcar en Costa Rica según la fuente identificada (LAICA, 2022).

3. Implementación de la NAMA Caña de Azúcar

Para la implementación de la NAMA Caña de Azúcar fue necesario realizar un ejercicio de proyección a futuro en las estimaciones de las emisiones de GEI, con el objeto de tener un enfoque predictivo del aporte a las emisiones con la producción de caña de azúcar de la manera tradicional en que ha operado (BAU⁴). Para la NAMA Caña de Azúcar se realizó una proyección realizando una predicción de lo que será el comportamiento de las áreas de siembra hasta el año 2050, acudiendo al criterio experto de diferentes miembros del sector cañero azucarero que ejecutan funciones activas Costa Rica. El Cuadro 3 resume el comportamiento que se vislumbra tendrán las áreas con caña de azúcar en las diferentes regiones en los 30 años a partir de la estimación de la línea base, lo que permite establecer el estimado de emisiones de GEI del Cuadro 4. La Figura 5 ilustra la tendencia en el tiempo que tendrían las emisiones 30 años después de estimada la línea base, en caso que la actividad siga con las prácticas tradicionales.

⁴ BAU: acrónimo en idioma inglés del concepto *business as usual* que expresa la operación de proyectos, negocios o actividades en general de acuerdo a lo tradicional y sin cambios.

Cuadro 3

Comparativo de tendencia de las áreas (ha) sembradas y proyectadas al año 2050 según región productora (LAICA, 2022).

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

Cuadro 4

Estimación de las emisiones de GEI (Gg CO₂ eq) según fuente, proyectada a diferentes periodos en el tiempo (LAICA, 2022).

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 de biomasa	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

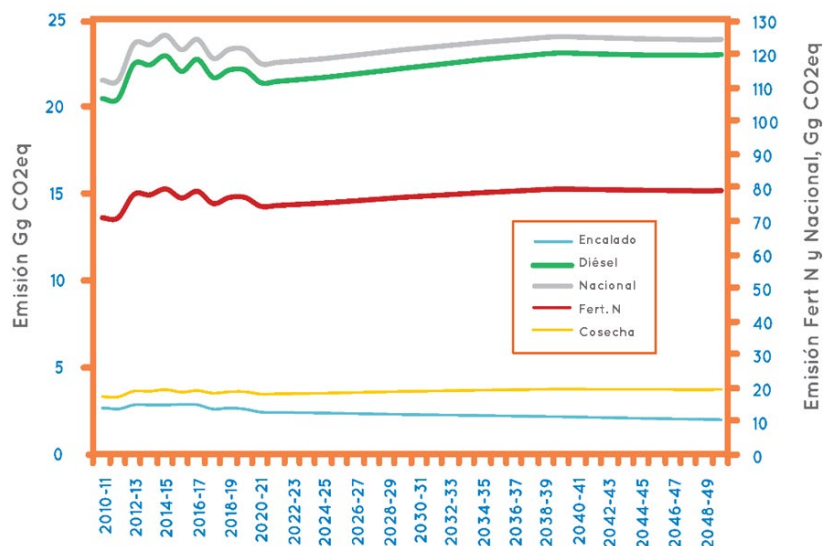


Figura 5

Tendencia estimada de las emisiones de GEI (Gg CO₂eq) en el tiempo hasta el año 2050 según la fuente (LAICA, 2022).

3.1. Escenarios de mitigación

La meta de la NAMA Caña de Azúcar es, mediante la incorporación de prácticas de cultivo y tecnologías integradas, cumplir con tres escenarios alternativos de mitigación de GEI en las plantaciones cañeras. LAICA (2022) conceptualiza los escenarios de mitigación para la NAMA Caña de Azúcar de la siguiente manera:

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

Cuadro 5

Metas de mitigación (Gg CO_{2eq}) propuesta según fuente de emisión y escenario de mitigación por región productora. Periodo 2049-2050.

Región	Nitrógeno Escenario			Combustibles Escenario			Enmiendas 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

Fuente: LAICA (2022).

3.2. Establecimiento del Plan Piloto

La implementación de la NAMA Caña de Azúcar dependerá de la validación de las tecnologías NAMA para la mitigación en la emisión de GEI, lo que conlleva la medición de las tecnologías en función de las emisiones, productividad y eficiencia productiva, para este objetivo se diseñó en implementó el Plan Piloto (PLP) en fincas debidamente identificadas como apropiadas y representativas para realizar la validación de las tecnologías en las diferentes regiones del país.

Cada Finca Piloto (FP) contará con dos Parcelas Piloto (PP) en las que se establecerán los diferentes tratamientos con Tecnología NAMA en comparación con la Tecnología convencional implementada por el productor local o del sitio. La selección de las fincas y de los tratamientos o tecnologías NAMA a implementadas se definieron a la medida de acuerdo a las características de la región y los recursos disponibles. Las tecnologías se definieron en talleres regionales participativos y se ratificaron en un evento final con la participación colegiada de técnicos expertos en el cultivo de instituciones tanto públicas como privadas con vinculación al sector azucarero

Cuadro 6

Recomendaciones y acciones tecnológicas para la implementación en las fincas piloto de la NAMA Caña de Azúcar.

Región	Tratamientos NAMA	Acciones de mitigación
Guanacaste Este	Manejo convencional comparado contra tratamiento de reducción de fertilización 30% + <i>Methylobacterium symbioticum</i> + microorganismos de montaña. Cosecha	Incorporación de bacterias fijadoras de nitrógeno
		Incorporación de microorganismos benéficos
		Reducción fertilización nitrogenada 30-35%
		Uso de retardadores de la volatilización fertilizantes

Región	Tratamientos NAMA	Acciones de mitigación
	quemada. Ajustar reducción fertilización al costo de la fuente. Considerar el Nitro Xtent.	
Guanacaste Oeste	Manejo convencional comparado contra tratamiento de reducción de fertilización 30% + <i>Methylobacterium symbioticum</i> + microorganismos de montaña. Cosecha quemada. Aplicación con drones de herbicidas en preemergencia. Diseño de programas de fertilización basados en análisis químicos, implementar agricultura de precisión.	Incorporación de bacterias fijadoras de nitrógeno Incorporación de organismos benéficos Reducción fertilización nitrogenada 30-35% Uso de equipos aéreos de propulsión eléctrica para aplicación insumos Uso de retardadores de la volatilización fertilizantes
Norte	Sistema convencional comparado contra sistema con siembra transversal, manejo de acidez, compostaje con bioestimulantes a la siembra, utilización de bioinsumos y microorganismos de montaña durante todo el ciclo del cultivo, y aplicación de madurante con drones. Implementación del sistema intercalado de renovación simultánea o MEIOSI.	Implementación de siembra transversal Incorporación de abonos orgánicos Incorporación de biofertilizantes (bioles) Manejo cuantitativo de la acidez Uso de madurantes
Puntarenas	Densidad siembra 1,5 a 1,7; combinación urea + sulfato de amonio 70/30; más microorganismos de montaña; aplicación de Zn y B. Adoptar la utilización de drones aéreos para las aplicaciones de herbicidas, fertilizantes foliares y madurantes.	Aumento distancias de siembra Incorporación de microorganismos benéficos Incorporación de fuentes nítricas de nitrógeno Incorporación de microelementos a la fertilización Reducción de fuentes uréicas de nitrógeno Uso de equipos aéreos de propulsión eléctrica para aplicación insumos
Sur	Labranza mínima con 2 labores; reducción de fertilización N a un 70%, uso fuentes nítricas; incorporación abono orgánico (10 t/ha); incorporación de bacterias fijadoras de nitrógeno. Aplicación de herbicidas con drones aéreos. Manejo de la acidez año 1 y 3 después de la siembra.	Incorporación de abonos orgánicos Incorporación de bacterias fijadoras de nitrógeno Incorporación de fuentes nítricas de nitrógeno Reducción de fuentes uréicas de nitrógeno Reducción fertilización nitrogenada 30-35% Uso de abonos verdes Uso de equipos aéreos de propulsión eléctrica para aplicación insumos
Turrialba	Manejo convencional comparado contra sistema con plan de fertilización ajustado al análisis de suelo con énfasis en alta demanda de potasio por el cultivo. Utilización de fuentes nítricas y no amoniacales para formulación de fertilizantes. Incorporación de bioinsumos elaborados con protocolos homologados. Manejo de la acidez del suelo. Incorporación de abonos orgánicos. Implementación de mínima labranza.	Incorporación de microorganismos benéficos Incorporación de fuentes nítricas de nitrógeno Manejo cuantitativo de la acidez Manejo cuantitativo de la fertilización Reducción de fuentes uréicas de nitrógeno Reducción de las labores de labranza Incorporación de abonos orgánicos
Valle Central	Manejo tradicional comparado contra sistema que integra: encalado, abono orgánico, aplicación de bioles y microorganismos de montaña, subsolado, fertilizante	Aplicación incorporada de fertilizantes. Implementación del subsolado Incorporación de abonos orgánicos Incorporación de microorganismos benéficos Manejo cuantitativo de la acidez

Región	Tratamientos NAMA	Acciones de mitigación
	incorporado con aporca, ajuste fertilización química con base en análisis suelo.	Manejo cuantitativo de la fertilización

Los tratamientos de la Tecnología NAMA a evaluar durante el pilotaje se basaron y diseñaron tomando en cuenta las siguientes consideraciones importantes:

1. Recursos existentes y disponibles en la región que permitan proveer lo necesario para implementar las prácticas.
2. Posibilidades para la adopción e implementación por parte de los productores en la región.
3. Potencial de escalamiento posterior de las prácticas implementadas.

Para finales del 2024 y durante el 2025 se puso en marcha el PLP con el establecimiento de las FP que se citan en el Cuadro 7.

Cuadro 7

Lista de participantes y ubicación de las fincas piloto para la implementación de las tecnologías NAMA para la evaluación de la contribución en la mitigación de emisiones de GEI's.

Nombre	Provincia	Cantón	Distrito	Ubicación finca	Fecha de siembra
Ronald Apuy Alfaro	Guanacaste	Cañas	Cañas	San Luis	12/4/2025
Carao de la Palma S.A. (Silvia Masis Peña)	Guanacaste	Carrillo	Belén	Belén	6/12/2024
Leiner Lara Rodríguez	Alajuela	San Carlos	Pocosol	San Diego	28/7/2025
Azucarera El Palmar	Puntarenas	Puntarenas	Puntarenas	Chapernal	16/7/2025
Olger Beita Ortiz	San José	Pérez Zeledón	San Pedro	La Esperanza	2/6/2025
Coopecañita	Cartago	Jiménez	Pejibaye	Pejibaye	24/6/2025
Alfonso Chaves Solís	Alajuela	Poás	San Pedro	Chilamate	13/6/2025

3.2.1. Evaluaciones y recopilación de información durante el pilotaje.

Durante todo el ciclo vegetativo de cultivo las Parcelas Piloto serán sometidas a evaluaciones métricas y la recopilación de toda la información vinculada con el establecimiento y manejo del cultivo; la operación de todas las labores de manejo; insumos utilizados para la atención de las parcelas; los combustibles utilizados en todas las operaciones del cultivo y cosecha; así como los costos involucrados y los ingresos percibidos.

La captura de la información se realizará de primera mano a partir de los Datos de Actividad (DA) proporcionados por el productor; análisis de laboratorio de las variables requeridas y mediante la utilización de instrumentos cuantificables en el campo según corresponda.

Cuadro 8

Indicadores sometidos a medición para la determinación del resultado de la Tecnología NAMA implementada en las Parcelas Piloto.

Indicador	Unidades	Descripción
Área	ha	Levantamiento del área total medida en hectáreas (ha) de la finca, sembrada con caña de azúcar y dedicadas también a otras actividades.
Productividad agrícola	t/ha	Rendimiento agrícola dado en toneladas métricas (t) de caña producida por hectárea (ha).
Productividad agroindustrial	t/ha	Rendimiento agroindustrial dado en toneladas métricas (t) de azúcar producida por hectárea (ha).
Rendimiento de sacarosa en caña	kg/t	Rendimiento industrial expresado en kilogramos (kg) de sacarosa recuperados por tonelada métrica (t) de caña molida.
Rendimiento de miel en caña	kg/t	Rendimiento industrial dado en kilogramos (kg) de miel final producida por tonelada métrica (t) de caña procesada.
Relación caña/azúcar	Adimensional	Resultado de dividir el total de caña producido (t) respecto al total de azúcar fabricado (t), lo que determina la cantidad de caña necesaria moler para fabricar una unidad de azúcar.
Residuos de cosecha	t/ha	Medición del residuo vegetal (RAC) no industrializable que queda depositado en el campo luego de la cosecha.
Costos de producción	€/ha	Costos totales incurridos para la producción de una hectárea de caña en cada uno de los tratamientos evaluados.
Carbono Orgánico en el Suelo (COS)	t/ha	Es la cantidad de carbono (C) que está almacenada en el suelo y es medible y estimada por medio técnicas de laboratorio.
Carbono Orgánico en el componente arbóreo	t/ha/año	Inventario del carbono existente en las áreas de bosque secundario o plantaciones forestales existentes en las fincas cañeras, si las hubiera.
Carbono orgánico en áreas boscosas compactas	t/ha/año	Medida de la cantidad de carbono (C) en toneladas métricas (t) por hectárea (ha) por año, que remueven las áreas boscosas compactas.
Captura de carbono en árboles dispersos	t/ha/año	Medida de la cantidad de carbono (C) en toneladas métricas (t) por hectárea (ha) por año que remueven los árboles dispersos existentes en la FP.
Emisiones Gases de Efecto Invernadero (GEI).	t/año	Medida de las emisiones de dióxido de carbono equivalente (CO ₂ eq) expresado en toneladas métricas (t) por año a partir del uso de fertilizantes, correctivos de acidez y combustibles fósiles.

4. Perspectivas para el corto plazo en la implementación de las tecnologías NAMA.

Previo al inicio del pilotaje se establecieron una serie de parcelas para una evaluación preliminar de las tecnologías NAMA y también con el objetivo de valorar las posibilidades en la demanda de recursos, el potencial de las tecnologías propuestas y la toma de datos de actividad para los sistemas de monitoreo, reporte y verificación (MRV). En la práctica se constituyó como una prueba preliminar de campo (PPC) simulando un pilotaje para evaluar las capacidades y perspectivas a futuro.

La PPC generó datos que permitió de manera muy preliminar realizar estimaciones no oficiales, ni ratificadas por ningún sistema MRV, que revelan el potencial de las acciones seleccionadas como propuestas para implementación como tecnologías NAMA. Los datos de actividad permitieron hacer cálculos “en borrador” que en todos los casos presumen resultados bastante positivos.

Cuadro 9

Estimación preliminar de las emisiones de GEI en kg CO_{2eq} en a partir de datos de actividad el desarrollo de la PPC de la NAMA Caña de Azúcar en 4 regiones productoras. Datos preliminares sin control de calidad por MRV.

Región	NAMA	Convencional	Total región
Guanacaste	1.053,2	1.125,6	2.178,8
Puntarenas	911,5	989,0	1.900,5
Sur	1.860,6	2.075,0	3.935,7
Turrialba	923,2	968,6	1.891,8
Total	4.748,5	5.158,3	9.906,7

En términos generales se puede notar en el Cuadro 9 que hubo una reducción del 8% en las emisiones totales entre los tratamientos NAMA y los convencionales independientemente de las regiones, lo que en términos generales sitúan los niveles de mitigación entre el escenario intermedio y optimista propuestos en las metas de la NAMA.

Los datos del Cuadro 10 muestran que hay una disminución del 13% del CO_{2eq} en lo que a emisiones por tonelada de caña producida se refiere, una diferencia que se denota importante en términos globales sin tomar en cuenta las diferencias entre regiones.

Cuadro 10

Estimación de emisiones de GEI en kg de CO_{2eq} entre las tecnologías convencionales y NAMA en la ejecución de la PPC.

Tecnología	kg CO _{2eq} /ha	t caña/ha	kg CO _{2eq} /t caña	Diferencia (%)
NAMA	4.748,5	79,3	59,9	-13,2
Convencional	5.158,3	74,8	69,0	
Promedio	4.953,4	77,0	64,3	

Cuadro 11

Estimación de las emisiones según fuente para las tecnologías aplicadas en la PPC en la NAMA Caña de Azúcar.

Tecnología	Fuentes de emisión	kg CO _{2eq} /ha	kg CO _{2eq} /t caña
NAMA	Abonos orgánicos	604,9	7,6
	Combustibles	2.649,3	33,4
	Enmiendas	858,6	10,8
	Fertilizantes	635,7	8,0
Total NAMA		4.748,5	59,9
Convencional	Abonos orgánicos	604,9	8,1
	Combustibles	2.912,0	38,9
	Enmiendas	858,6	11,5
	Fertilizantes	782,7	10,5
Total Convencional		5.158,3	69,0

Ambas opciones tecnológicas, tanto la NAMA como la convencional, evidencian que el uso de combustibles fósiles es la principal fuente de emisiones, consecuencia de la dependencia del uso de maquinaria para la ejecución de labores agrícolas y de cosecha.

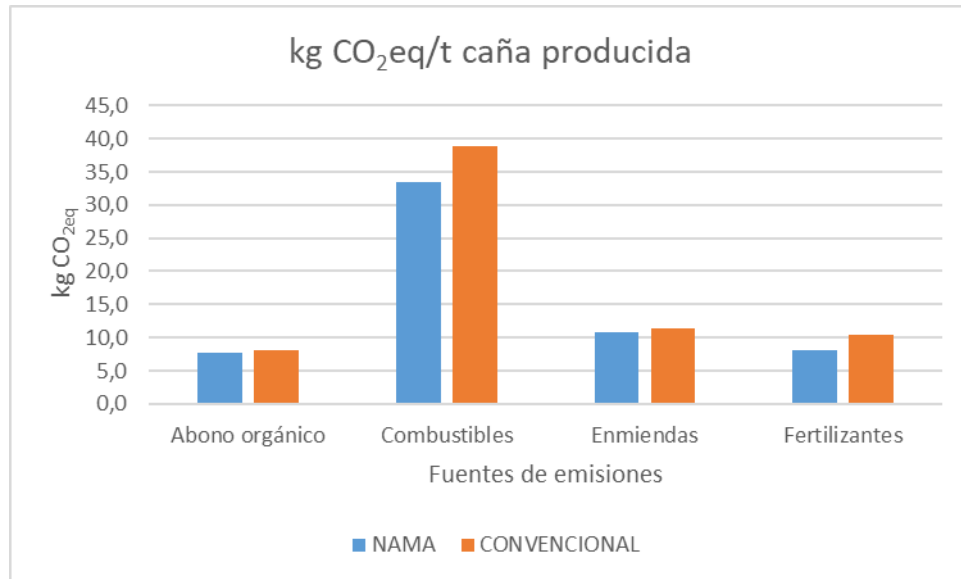


Figura 6

Comparación del aporte a las emisiones según la fuente para las tecnologías aplicadas en la PPC en la NAMA Caña de Azúcar.

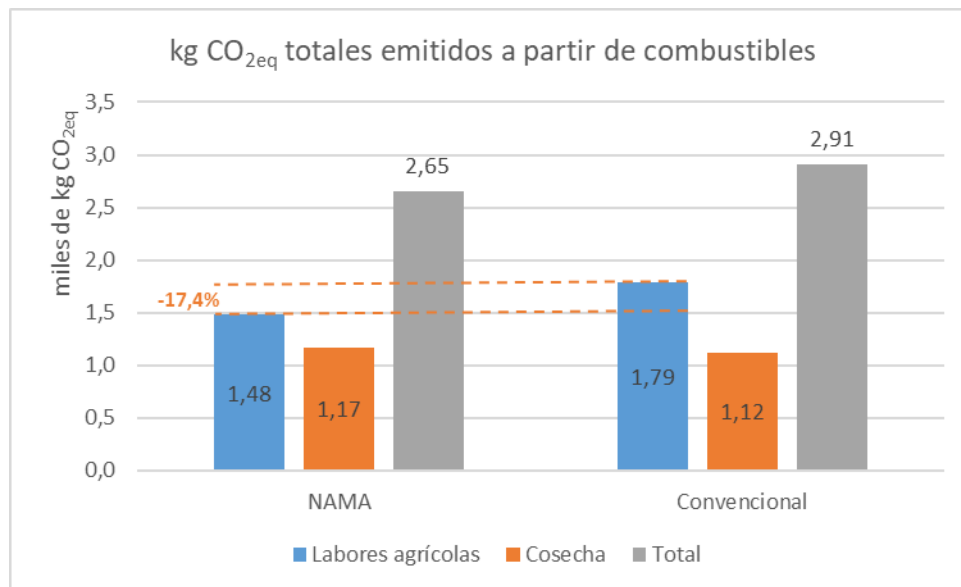


Figura 7

Comparación de las emisiones a partir de combustibles consumidos para labores agrícolas y cosecha en las parcelas de la PPC según las tecnologías aplicadas en la NAMA Caña de Azúcar.

La implementación de prácticas que reduzcan la labranza tienen un efecto positivo en la mitigación debido a que se consumen menos cantidad de combustibles en la preparación de terreno. En términos generales las tecnologías NAMA contribuyeron a la reducción en un 17,4% las emisiones de CO_{2eq} según datos preliminares de la PPC (Figura 7), mientras que las emisiones durante la cosecha permanecen invariables entre las dos tecnologías.

5. Conclusiones

La NAMA Caña de Azúcar se propuso hace dos años en su nota conceptual como una oportunidad de trabajo para contribuir a la mitigación de las emisiones sin perjuicio de la actividad azucarera en su sector primario. Hoy día ya el proyecto está en marcha con el establecimiento del Plan Piloto por lo que para la zafra 2025 – 2026 se podrán tener los primeros resultados tangibles y oficiales de los efectos de las diferentes tecnologías sobre la producción y las emisiones de GEI a la atmósfera. Este avance se ha podido realizar gracias al aporte del sector azucarero, a la contribución de los productores independientes y al financiamiento del Banco Interamericano de Desarrollo (BID) quien está aportando los recursos para operar el primer año del pilotaje.

La gestión del equipo de trabajo de DIECA en las regiones ha sido fundamental en la convocatoria de los actores directamente involucrados con el sector para la definición de las tecnologías seleccionadas. Este ejercicio de análisis y discusión amplía los criterios, experiencias y puntos de vista, y enriquece la toma de decisiones para asegurar el éxito de las recomendaciones técnicas a implementar en la NAMA.

Los resultados observados en la PPC evidencian que las tecnologías seleccionadas fueron acertadas, y que es bastante factible la implementación de tecnologías tendientes a la reducción de las emisiones en la producción de caña de azúcar en Costa Rica. Aunque los resultados **son preliminares y carecen de la rigurosidad del sistema MRV**, muestran que es posible implementar estas tecnologías.

6. Agradecimientos

De parte del equipo de trabajo de la NAMA Caña de Azúcar queremos dar un sincero agradecimiento a Azucarera El Viejo, Azucarera El Palmar, Ingenio Cutris, CoopeAgri R. L., CoopeVictoria R. L., Cámara de Productores de Caña de la Zona Sur, y a CoopeCañita R. L., por su colaboración en la ejecución de este proyecto.

También agradecemos al Banco Interamericano de Desarrollo por su gestión de cooperante que ha permitido el arranque de este proyecto.

Un agradecimiento especial al Dr. Johnny Montenegro Ballesterero por su acompañamiento y guía en la formulación y operación de la NAMA. Al M. Sc. Sergio Abarca Monge y al M. Sc. Francisco Arguedas Acuña por sus recomendaciones y consejos técnicos para la implementación de los sistemas de MRV para la fase de pilotaje.

Finalmente, el más especial agradecimiento a los productores participantes del pilotaje quienes creyeron en el proyecto y se han involucraron personalmente: Ronald Apuy Alfaro, Silvia Masis Peña, Leiner Lara Rodríguez, Olger Beita Ortiz, productores de Coopecañita, y Alfonso Chaves Solís.

7. Literatura citada

SHARMA, S.; DESGAIN, D. 2013. Understanding the Concept of Nationally Appropriate Mitigation Action. Dinamarca. UNEP Risoe Centre, Universidad Técnica de Dinamarca. 32p.

UNCC (United Nations Climate Change). 2022. Nationally Appropriate Mitigation Actions (NAMAs). UNCC, Bonn, Alemania. Consultado 9 de agosto del 2022. Disponible en: <https://unfccc.int/topics/mitigation/workstreams/nationally-appropriate-mitigation-actions#:~:text=NAMAs%20refer%20to%20any%20action,for%20a%20broader%20national%20focus>.

Gobierno de Costa Rica. (2024). Inventario Nacional de emisiones por fuentes y absorción por sumideros de Gases Efecto Invernadero. Costa Rica, 1990-2021. San José, Costa Rica: MINAE-IMN.

SEPSA (Secretaría Ejecutiva de Planificación Sectorial Agropecuaria). 2021. Boletín Estadístico Agropecuario. Serie Cronológica 2018-2021. Edición N° 32. Consultado 9 de agosto del 2022. Disponible en: <http://www.infoagro.go.cr/BEA/BEA32.xls>.

GOBIERNO DE COSTA RICA. 2018. Plan Nacional de Descarbonización 2018 – 2050. Gobierno de Costa Rica. San José, Costa Rica. 113 p.

LAICA (Liga Agrícola Industrial de la Caña de Azúcar). 2022. NAMA Caña de Azúcar, Costa Rica. LAICA. San José, Costa Rica. 135 p.