

Periodo 21 de marzo al 03 de abril 2022

RESUMEN DE LAS CONDICIONES DE LA QUINCENA DEL 07 DE MARZO AL 20 DE MARZO

El Instituto Meteorológico Nacional (IMN) con el apoyo del Departamento de Investigación y Extensión de la Caña de Azúcar de LAICA (DIECA-LAICA), presenta el boletín agroclimático para caña de azúcar.

En este se incorpora el análisis del tiempo, pronósticos, notas técnicas y recomendaciones con el objetivo de guiar al productor cañero hacia una agricultura climáticamente inteligente.

IMN

www.imn.ac.cr

2222-5616

Avenida 9 y Calle 17

Barrio Aranjuez,

Frente al costado Noroeste del

Hospital Calderón Guardia.

San José, Costa Rica

LAICA

www.laica.co.cr

2284-6000

Avenida 15 y calle 3

Barrio Tournón

San Francisco, Goicoechea

San José, Costa Rica

En la figura 1 se puede observar, a partir de datos preliminares de 110 estaciones meteorológicas, el acumulado quincenal de lluvias sobre el territorio nacional.

Los máximos de lluvia diaria varían según la región azucarera. Se tuvieron valores acumulados de lluvia diaria que no superan los 2 mm, en las regiones Guanacaste Este, Guanacaste Oeste y región Puntarenas; mientras Valle Central evidencia lluvias escasas, excepto el 12 de marzo (14 mm); en tanto Región Norte registra lluvias que no superan los 2 mm, excepto el día 13 (14 mm), día 19 (4 mm) y día 20 (5 mm) de marzo; en tanto Turrialba no supera los 2 mm de lluvia al día, excepto el día 12 (3 mm) y día 13 (11 mm) de marzo; cuando la Región Sur no supera los 4 mm de lluvia al día, excepto el día 10 (8 mm), día 11 (14 mm), día 13 (16 mm) de marzo.

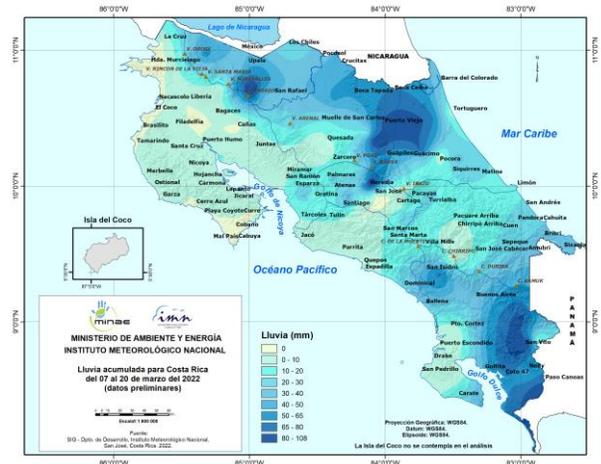


Figura 1. Valores acumulados de la precipitación (mm) durante la quincena del 07 de marzo al 20 de marzo del 2021.

PRONÓSTICO PARA LAS REGIONES CAÑERAS DEL 21 DE MARZO AL 27 DE MARZO

De la figura 2 a la figura 8, se muestran los valores diarios pronosticados de las variables lluvia (mm), velocidad del viento (km/h) y temperaturas extremas (°C) para las regiones azucareras. La Región Norte mantendrá humedad media, con sus máximos entre jueves y domingo; mostrando viento del Este, con su máximo lunes y martes, con su mínimo lunes y domingo; además de madrugadas más cálidas entre martes y jueves. Guanacaste (Este y Oeste) mantendrá humedad baja excepto entre jueves y domingo que será media; viento el Este con su máximo el lunes; y temperatura diaria similar a lo largo de la semana. El Valle Central (Este y Oeste) tendrá contenido de humedad baja, incrementando la humedad a partir del jueves; mostrando viento del Este, con máximo el lunes; y días con temperaturas similares excepto el sábado que la tarde será más fresca. Para Turrialba (Alta y Baja) se prevé humedad baja hasta el jueves cuando pasa a humedad media; además de viento del Este, con su máximo el lunes; así como tardes más frescas que el lunes. En la Región Sur se espera contenido de humedad media a partir del jueves; además de viento variable (Este-Oeste) dominante del Oeste; así como temperatura media variable.

Puntarenas mantendrá la semana con humedad media a partir del jueves, previa humedad baja; con viento variable (Este-Oeste); acompañado de temperatura media variable.

“De momento no se prevé el tránsito de ningún empuje frío.”

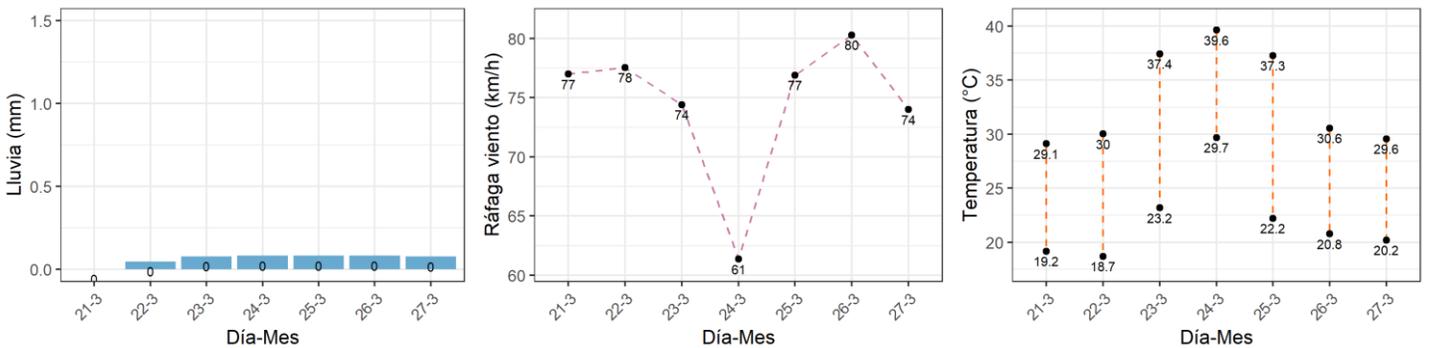


Figura 2. Pronóstico de precipitación (mm), viento (km/h) y temperatura (°C) del 28 de marzo al 03 de abril en la región cañera Guanacaste Este.

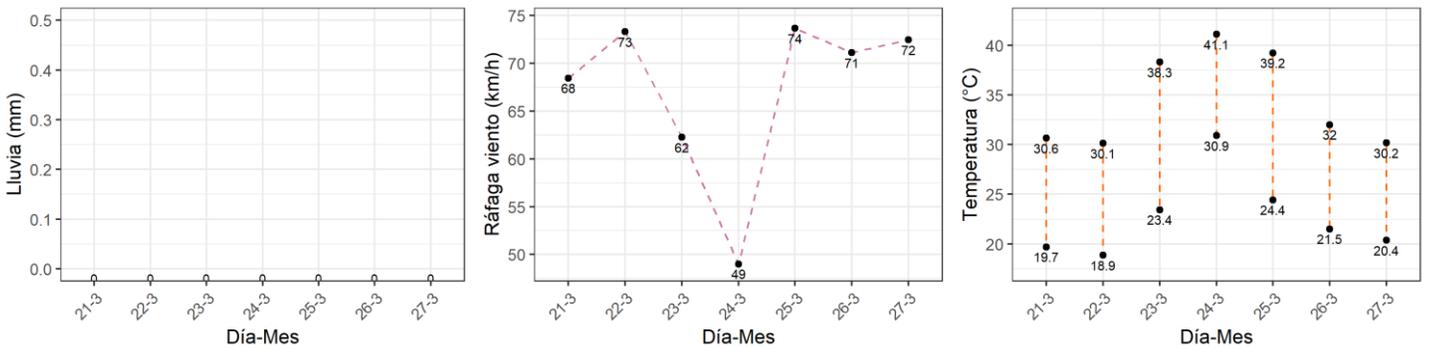


Figura 3. Pronóstico de precipitación (mm), viento (km/h) y temperatura (°C) del 28 de marzo al 03 de abril en la región cañera Guanacaste Oeste.

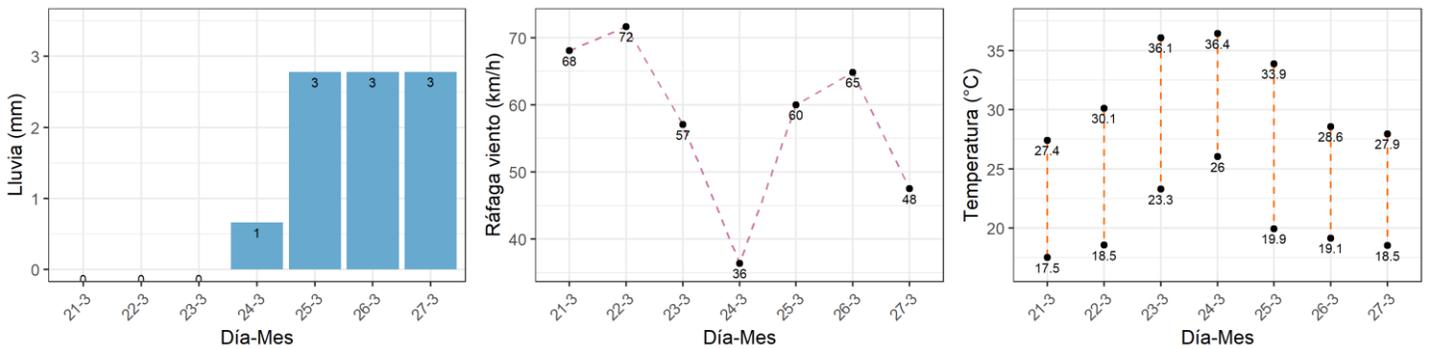


Figura 4. Pronóstico de precipitación (mm), viento (km/h) y temperatura (°C) del 28 de marzo al 03 de abril en la región cañera Puntarenas.

Marzo 2022 - Volumen 4 – Número 06

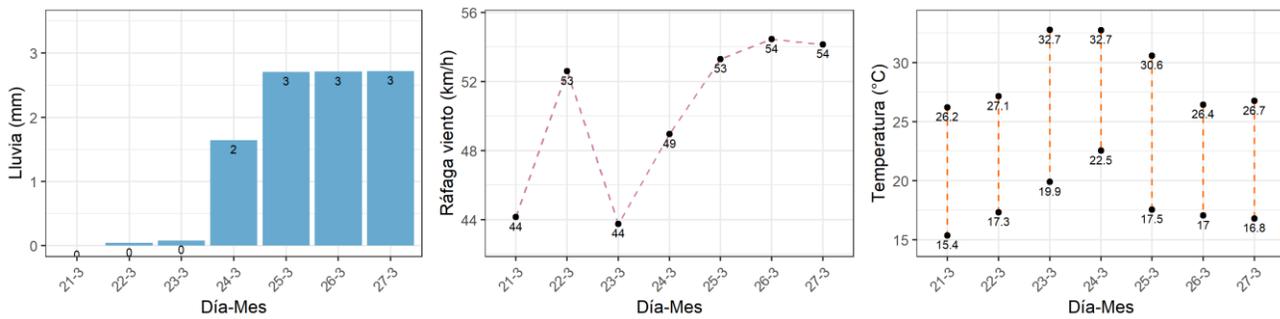


Figura 5. Pronóstico de precipitación (mm), viento (km/h) y temperatura (°C) del 28 de marzo al 03 de abril en la región cañera Región Norte.

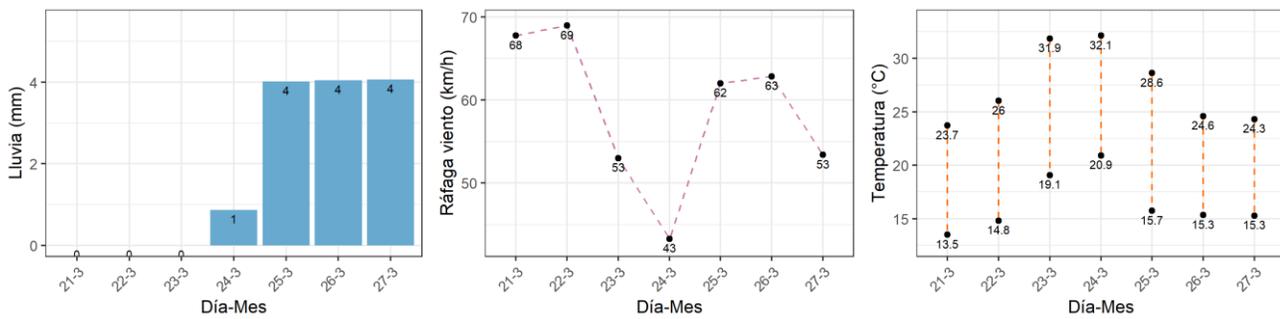


Figura 6. Pronóstico de precipitación (mm), viento (km/h) y temperatura (°C) del 28 de marzo al 03 de abril en la región cañera Valle Central (Este y Oeste).

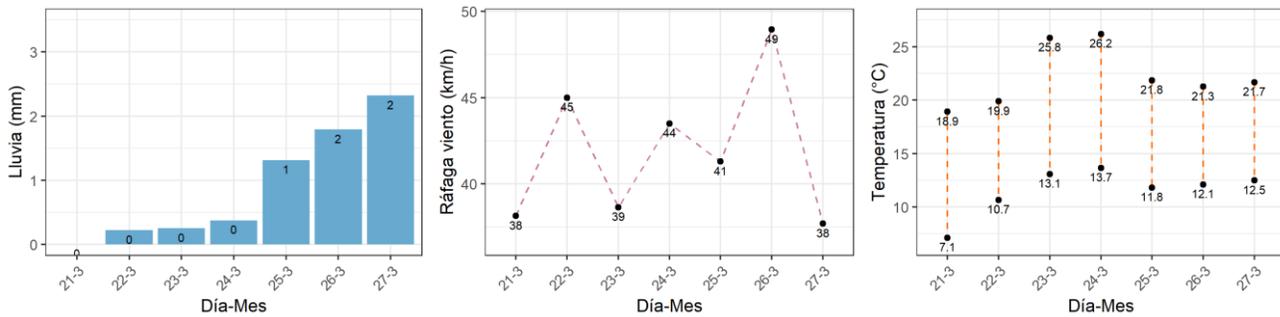


Figura 7. Pronóstico de precipitación (mm), viento (km/h) y temperatura (°C) del 28 de marzo al 03 de abril en la región cañera Turrialba (Alta y Baja).

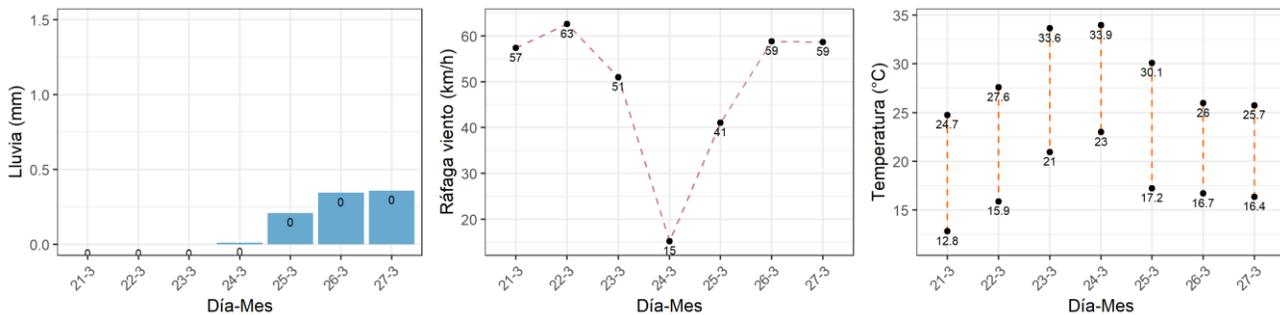


Figura 8. Pronóstico de precipitación (mm), viento (km/h) y temperatura (°C) del 28 de marzo al 03 de abril en la región cañera Región Sur.

Marzo 2022 - Volumen 4 – Número 06

TENDENCIA PARA EL PERIODO DEL 28 DE MARZO AL 03 DE ABRIL

La Región Norte iniciará la semana con humedad baja entre lunes y martes; con viento del Este con intensidades similar al inicio de semana previo; mostrando la madrugada más fría el lunes; de forma que la semana mostrará condiciones lluviosas normales y Oeste levemente más acelerados de lo normal para la época. Guanacaste (Este y Oeste) iniciará la semana con contenido de humedad bajo; además de viento del Este entre lunes y martes, siendo el miércoles variable (Este-Oeste); con el mismo patrón de temperaturas similares; en tanto la semana completa evidenciará lluvia normal y viento del Oeste más acelerado de lo normal para la época. Valle Central (Este y Oeste) iniciará la semana con humedad baja lunes y martes, seguido el miércoles de humedad media y viento del Este con un paulatino des aceleramiento entre lunes y miércoles; mostrando temperaturas similares; de forma que en la semana la lluvia será levemente sobre lo normal y viento del Oeste un poco más acelerado de lo normal. Para Turrialba (Alta y Baja) se prevé que la semana de inicio con humedad baja seguido de humedad media martes y miércoles, viento del Este; con días con temperaturas similares; manteniéndose la semana completa más lluviosa de lo normal y viento del Oeste sutilmente más acelerado de lo normal para la época. En la Región Sur se espera un inicio de semana humedad alta para martes y miércoles, así como viento variable (Este-Oeste) con dominancia del Oeste y mañanas cada vez más cálidas; donde se espera que la semana tenga lluvia por arriba de lo normal y viento normal para la época. Puntarenas iniciará la semana con humedad baja, además de viento variable (Este y Oeste); y temperatura media variable; esperándose una semana con condiciones más lluviosas de lo normal y viento normal.

HUMEDAD DEL SUELO ACTUAL PARA REGIONES CAÑERAS

De acuerdo con Central America Flash Flood Guidance System (CAFFG), el cual estima la humedad en los primeros 30 cm de suelo, del 14 al 20 de marzo se presentó muy baja saturación en todas las regiones cañeras, las regiones que tuvieron un mayor contenido de humedad fueron Región Norte, Región Sur y las regiones Turrialba Alta y Turrialba Baja.

Como se observa en la figura 9, la Región Guanacaste Oeste tiene entre 0% y 45%, la Región Guanacaste Este presenta entre 0% y 15%, la Región Puntarenas está entre 0% y 15%, las regiones Valle Central Oeste y Valle Central Este tienen entre 0% y 30%.

El porcentaje de la Región Norte está entre 0% y 75%, la Región Turrialba Alta (> 1000 m.s.n.m.) tiene entre 15% y 45% y la Región Turrialba Baja (600-900 m.s.n.m.) presenta entre 15% y 30%. La Región Sur varía entre 0% y 60% de humedad.

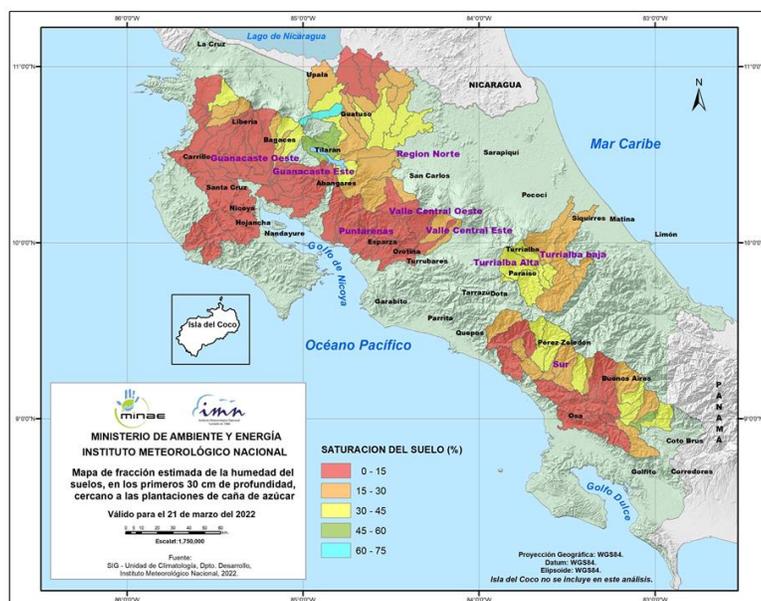


Figura 9. Mapa de fracción estimada de la humedad en porcentaje (%), en los primeros 30 cm de profundidad, cercana a las plantaciones de caña de azúcar, válido para el 21 de marzo del 2022.

NOTA TÉCNICA

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.

Ing. Agr. Marco A. Chaves Solera, MSc.

chavessolera@gmail.com

Especialista en el Cultivo de la Caña de Azúcar

Introducción

El cambio climático viene adquiriendo cada vez mayor relevancia e importancia en la comunidad internacional virtud de los impactos que con graves consecuencias genera de manera ya casi permanente, afectando poblaciones y familias que en forma directa o indirecta se ven intervenidas por los embates que los elementos del clima provocan. Estos cambios se manifiestan de diferente manera, sea por transformaciones climáticas provocadas por aumentos de la temperatura media global, modificaciones en el patrón normal y tradicional de las precipitaciones, incrementos en el nivel marítimo y severas modificaciones en los patrones de eventos climáticos con tendencia a calificar por su magnitud como “extremos”. Hablar de clima hoy día es referirse a situaciones caracterizadas por sequías, inundaciones, huracanes, tormentas y depresiones tropicales, altas o bajas temperaturas, todo lo cual afecta los sistemas productivos, el patrón de vida comunitaria y la economía en general de comunidades, regiones y países.

Como se ha demostrado y está suficientemente comprobado científicamente, el cambio climático es consecuencia de las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) que se originan principalmente 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 y del manejo de los desechos agroindustriales depositados en el medio. Los GEI son componentes gaseosos de la atmósfera, tanto de origen natural como los resultantes de la actividad humana, que absorben y emiten radiación infrarroja al medio; propiedad que ocasiona el efecto de calentamiento señalado.

El efecto invernadero es originado a partir de la absorción que realiza 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 que en la tierra exista vida. La ecuación del efecto percibido es muy simple de explicar, correspondiendo a factores diferentes que no deben, como señalara Chaves (2010), confundirse ni tampoco igualarse pues corresponden a procesos diferentes, donde: efecto invernadero + calentamiento global = cambio climático. Es conocido que el calentamiento global y el cambio climático coinciden en la principal de las causas que los originan, cual es la emisión masiva de los diferentes Gases de Efecto Invernadero o GEI que reflejan y retienen el calor dentro de la atmósfera y sobre la superficie terrestre a través del denominado efecto invernadero.

Para contrarrestar en algún grado esos efectos atmosféricos detrimentales, se ha encontrado que la implementación de medidas y acciones de mitigación son la principal y mejor herramienta para provocar la reducción de las emisiones de GEI a través del tiempo. Además, representan uno de los componentes medulares para alcanzar la deseada carbono neutralidad y cumplir las metas fijadas por el país en la contribución nacionalmente determinada. El Panel Intergubernamental del Cambio Climático, conocido por el acrónimo en inglés IPCC, define la mitigación como: “una intervención antropogénica para reducir la emisión de gases con efecto invernadero, o bien aumentar sus sumideros”. En otra acepción del término también válida, se define que una acción de mitigación consiste en “una intervención humana para reducir las fuentes o aumentar los sumideros de gases de efecto invernadero”.

Con fundamento en lo anterior, se entiende entonces por “estrategias de mitigación” al diseño, implementación y aplicación de políticas dirigidas a reducir (mitigar) las emisiones de GEI y mejorar los sumideros mediante el análisis de las causas que los generan o fuentes de emisiones que les dan origen, y el posterior diseño y ejecución de medidas de solución. No cabe duda de que las acciones de mitigación son la principal herramienta para procurar la reducción sistemática de las emisiones de GEI a través del tiempo; sobre todo si las mismas son de carácter preventivo.

Por estas y otras razones, combatir el cambio climático y procurar evitar sus impactos detrimentales representa uno de los objetivos

primarios y estratégicos de los gobiernos en la actualidad, y también de la acción emprendida por los sectores productivos con el objeto de evitar y contrarrestar las pérdidas cada vez más frecuentes y cuantiosas que de manera sistemática se vienen percibiendo con el tiempo. Como parte de la meta nacional y sectorial de desarrollar una matriz agroproductiva más baja en carbono y resiliente a los impactos provocados por este fenómeno, se proponen y recomiendan seguidamente algunas medidas, estrategias y acciones orientadas a mitigar la emisión de GEI por parte de la agroindustria azucarera costarricense en su fase agrícola primaria. Es por esto necesario e imperativo iniciar y avanzar de inmediato en el desarrollo, adaptación 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.

Plan Nacional de Descarbonización

Con motivo del cumplimiento y celebración del bicentenario nacional en el año 2021, el Gobierno de la República propuso desarrollar una visionaria, amplia y pretenciosa iniciativa estatal en procura de potenciar la descarbonización de la economía costarricense; cuyas medidas, estrategias y alcances están concebidas y plasmadas en el documento (Figura 1) “Plan Nacional de Descarbonización 2018-2050” (Costa Rica, 2019).

Con motivo del cumplimiento y celebración del bicentenario nacional en el año 2021, el Gobierno de la República propuso desarrollar una visionaria, amplia y pretenciosa iniciativa estatal en procura de potenciar la descarbonización de la economía costarricense; cuyas medidas, estrategias y alcances están concebidas y plasmadas en el documento (Figura 1) “**Plan Nacional de Descarbonización 2018-2050**” (Costa Rica, 2019).



Figura1. Plan Nacional de Descarbonización 2018-2050 en desarrollo.

Dicho Plan fue lanzado y hecho público el 24 de febrero del 2019, con el firme compromiso de convertir a Costa Rica en una economía moderna, verde y libre de emisiones de Gases con Efecto Invernadero (GEI). El objetivo propuesto y procurado a largo plazo es tener emisiones netas cero para el año 2050, mediante el abordaje, implementación y ejecución de operaciones específicas en varias áreas basadas en el establecimiento de ejes transcendentales y estrategias de carácter transversal de acción.

La descarbonización y resiliencia son concebidas en este caso como un medio viable y factible para transformar y dinamizar el modelo de desarrollo vigente, orientándolo hacia una gestión diferente y moderna basada en la bioeconomía, el crecimiento verde, la inclusión y la mejora de la calidad de vida de la ciudadanía. Es definitivo concebir y aceptar que la economía verde supera el ámbito climático.

La planificación enfocada hacia la descarbonización guía y habilita el proceso de cambio para establecer la ruta entre las metas actuales y las del año 2050, congruentes con el cumplimiento de los objetivos plasmados en la Agenda 2030 y los Acuerdos de París y más recientemente Glasgow. Este Plan de alcance y cobertura nacional identifica las rutas de transformación tecnológica propuestas y previstas operar para cada uno de los sectores que se estima movilizan la economía costarricense. Las acciones propuestas se presentan en ejes sectoriales con bloques o “paquetes” de políticas fijados en tres periodos: inicio (2018-2022), inflexión (2023- 2030) y despliegue masivo (2031-2050), y adicionalmente 8 estrategias transversales para potenciar el cambio deseado.

La iniciativa estatal es clara y contundente en señalar, que *“Costa Rica se ha propuesto sentar las bases de la nueva economía costarricense del siglo XXI creando una visión positiva, innovadora e inspiradora del futuro. Una economía que responda a los cambios del contexto mundial, transitando hacia una economía verde, que promueve el uso y aprovechamiento sostenible de los recursos naturales.*

Aunque la transición a una economía baja en emisiones requiere de una transformación profunda, se destaca que Costa Rica ha logrado avances importantes en décadas previas, incluyendo una red eléctrica en más de un 95% libre de emisiones y muy bajas tasas de deforestación con una cobertura boscosa que supera el 52% del territorio.

Sin embargo, los retos son grandes y requieren de esfuerzos transformacionales como lo es el desarrollo e implementación de una de las primeras estrategias a nivel mundial de descarbonización a corto y largo plazo.”

El Plan Nacional de Descarbonización 2018-2050 (Costa Rica 2019) contiene y desarrolla con gran detalle los mecanismos, estrategias y alcances pretendidos alcanzar con su implementación, para lo cual organiza la estrategia en 10 ejes estratégicos con objetivos específicos, como se presenta de manera sucinta en el Cuadro 1. El plan se desagrega en elementos básicos referenciando sus alcances y

marcando los vínculos con estrategias transversales, define metas del periodo, fija indicadores de medición, precisa actividades previstas desarrollar e identifica los actores claves que participarán en el desarrollo y operatividad de la iniciativa estatal.

Se considera de forma razonable y visionaria, que una de las grandes tareas que la nación y en lo específico el sector agropecuario tienen para lograr alcanzar satisfactoriamente esta meta, consistirá en modernizar la infraestructura y los sistemas productivos de forma tal que el crecimiento económico se logre sin incrementar la contaminación ni dañar el valioso capital natural existente en el país.

Se infiere y concluye de lo anterior, que lo concerniente al sector agropecuario y afines se ubica en los ejes 8, 9 y 10 de la estrategia, donde el cultivo de la caña de azúcar está considerado propiamente en el Eje 8.

Como se indica y concluye de la propuesta gubernamental *“De esta forma el Plan de Descarbonización, la Política y el Plan Nacional de Adaptación y el Plan Estratégico Costa Rica 2050 constituirán el nuevo conjunto de políticas climáticas y de desarrollo para transformar el modelo económico, social y territorial costarricense. La meta es hacer de la descarbonización y resiliencia oportunidades para una Costa Rica Bicentenario que sea próspera, sostenible e incluyente.”*

Cuadro 1. Ejes sectoriales (10) y estrategias para la descarbonización propuestos por el Plan Nacional 2018-2050.

Eje	Estrategia sectorial
A	Transporte y Movilidad Sostenible
1	Desarrollo de un sistema de movilidad basado en transporte público seguro, eficiente y renovable, y en esquemas de movilidad activa y compartida.
2	Transformación de la flota de vehículos ligeros a cero emisiones, nutrido de energía renovable, no de origen fósil.
3	Fomento de un transporte de carga que adopte modalidades, tecnologías y fuentes de energía cero emisiones o las más bajas posibles.
B	Energía Construcción Sostenible e Industria
4	Consolidación del sistema eléctrico nacional con capacidad, flexibilidad, inteligencia y resiliencia necesaria para abastecer y gestionar energía renovable a costo competitivo.
5	Desarrollo de edificaciones de diversos usos (comercial, residencial, institucional) bajo estándares de alta eficiencia y procesos de bajas emisiones.
6	Modernización del sector industrial a través de la aplicación de procesos eléctricos, sostenibles y eficientes, así como tecnologías bajas y cero emisiones.
C	Gestión Integral de Residuos
7	Desarrollo de un sistema de gestión integrada de residuos basado en la separación, reutilización, revalorización y disposición final de máxima eficiencia y bajas emisiones de gases de efecto invernadero.
D	Agricultura Cambio y Uso del Suelo y Soluciones Basadas en la Naturaleza
8	Fomento de sistemas agroalimentarios altamente eficientes que generen bienes de exportación y consumo local bajos en carbono.
9	Consolidación de modelo ganadero eco-competitivo basado en la eficiencia productiva y disminución de gases de efecto invernadero.
10	Consolidación de un modelo de gestión de territorios rurales, urbanos y costeros que facilite la protección de la biodiversidad, el incremento y mantenimiento de la cobertura forestal y servicios ecosistémicos a partir de soluciones basadas en la naturaleza.
Fuente: Costa Rica (2019).	

Emisiones y NAMA Caña de Azúcar

Como es entendible concebir, la estructura y organización de la economía y la naturaleza de las políticas públicas propias y sobre las cuales se moviliza un país o en su caso un sector productivo, determinan el patrón de carbonización prevaeciente; motivo y razón por la cual, no existe una fórmula de aplicación genérica y aún menos mágica para pretender descarbonizar la economía nacional. En el caso particular de Costa Rica se ha encontrado que la mayor parte de las emisiones de carbono provienen del sector transporte, lo cual tiene implicaciones y repercusiones directas sobre la estrategia, medidas y acciones que se establezcan para procurar su reducción. En el caso particular de la agricultura, las fuentes de emisión de GEI son proporcionalmente algo diferentes, pues intervienen los fertilizantes nitrogenados y las enmiendas como fuentes generadoras. Resulta por ello útil y determinante conocer y entender los alcances y particularidades del inventario de emisiones de gases de invernadero del país, ubicado en el contexto de la realidad de la estructura económica costarricense. Para nadie es secreto, que nuestra economía es abierta y progresivamente más orientada y dirigida hacia la exportación de bienes y servicios.

De acuerdo con los estudios y estimaciones realizadas oficialmente en el país en varios periodos diferentes, se ha determinado que las emisiones de GEI en Costa Rica se han venido sistemáticamente incrementado con el tiempo; considerando con buen fundamento, que, de no tomar medidas inmediatas y efectivas, las emisiones del país se elevarán en un 2,4% anual lo que significa que habrán crecido un 60% entre los años 2015 y 2030 y podrían llegar a escalar un 132% en el 2050 para alcanzar un nivel de 29,6 millones de toneladas de CO₂ equivalente emitidos a la atmósfera. De acuerdo con los datos oficiales del inventario nacional de emisiones de Gases de Efecto de Invernadero y absorción de carbono, en el 2012 las emisiones fueron de 11,2 millones de toneladas de CO₂ equivalente (comparado con 9,6 millones en el 2010 y 7,6 millones en el año 2005).

A manera de ubicación y contextualización de lo que el sector agrícola y pecuario implican en el marco de las emisiones nacionales, el Plan Nacional de Descarbonización (Costa Rica, 2019) menciona específicamente al respecto, que *“En el sector agrícola las emisiones de gases de efecto invernadero se centran en cuatro actividades productivas: el café, la caña de azúcar, las musáceas (con predominancia de banano) con relación a las emisiones de óxido nitroso y el cultivo de arroz, por sus emisiones de metano. Es un sector, bajo la óptica de los paisajes productivos, que tiene la capacidad de absorber capturar y conservar carbono en su actividad principal, a través de sistemas agroforestales, agricultura de precisión y en la conservación de bosques. El sector agropecuario ha tomado un*

liderazgo en el desarrollo de estrategias climáticas, y es al mismo tiempo uno de los sectores más vulnerables a los impactos del cambio climático. El reto es pasar de acciones centradas en dos subsectores (café y ganadería) a un enfoque sectorial (el conjunto de actividades agrícolas y pecuarias). Un paso pionero ha sido la adopción del acuerdo sectorial de reducción de emisiones adoptado entre el Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG) y el Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE) firmado a inicios del 2018, y cuya operacionalización especialmente en materia de escalamiento, métrica y financiamiento constituye el reto mayor.”

Como se infiere de lo anterior y queda debidamente constatado documentalmente, el cultivo de la caña de azúcar está debidamente identificado como un emisor importante de GEI dentro del sector agropecuario; lo cual cabe sin embargo reconocer, viene ligado a la extensión del área cultivada (60.668 hectáreas en 2020) más que a la intensidad de sus emisiones unitarias (toneladas de CO₂equivalente por hectárea). Esta realidad obliga al sector agropecuario actuar e implementar medidas orientadas a la mitigación de gases y adecuación de los sistemas productivos tradicionales; lo cual, en el caso azucarero, la medida aplica inicialmente en su fase primaria de producción agrícola (no fabril). Por este motivo, el sector cañero-azucarero tomó la sabia decisión de aprobar diseñar un NAMA como estrategia sectorial para incorporar mejoras al sistema que contribuyan con la estrategia nacional, como está referido en la Nota Conceptual que establece los lineamientos básicos para el diseño de la NAMA Caña de azúcar actualmente en proceso de formulación (Vallejo *et al*, 2021; Chaves, 2021n).

Un NAMA se concibe genéricamente como una “Acción de Mitigación Nacionalmente Apropiada” por sus siglas en inglés: *National Appropriate Mitigation Action*; que en lo práctico puede definirse como *“Una intervención programática que permite identificar tecnologías para la reducción de emisiones, permite generar capacitación a nivel de estructuras claves (sector público y privado) para impulsar la adopción de tecnologías, fomenta el desarrollo de esquemas de MRV y potencia enfoques de integración vertical para trabajar igualmente con los procesos de comercialización.”*

Objetivos

El presente documento procura y establece como metas y objetivos básicos por satisfacer los siguientes:

1. General:

Sugerir y aportar elementos que favorezcan y coadyuven a definir y formular políticas, estrategias, planes, programas y acciones institucionales y tecnológicas orientadas a reducir la emisión de Gases

de Efecto Invernadero (GEI) en la fase de producción primaria de la caña de azúcar en Costa Rica.

2. Específicos:

- Identificar las principales fuentes de emisión de GEI en la fase primaria del cultivo.
- Dimensionar y aproximar la relevancia e impacto potencial de las emisiones según fuente.
- Organizar, proponer y sugerir medidas y acciones de mitigación según fuente de emisión.
- Pragmatizar en lo viable y factible las sugerencias y recomendaciones propuestas.
- Aportar elementos para la definición y formulación de estrategias, planes, programas y acciones sectoriales e institucionales orientadas a mitigar GEI.

Fuentes de emisión en caña de azúcar

Las fuentes potenciales de emisión de GEI son en el caso particular de la caña de azúcar amplias, aunque podrían calificarse como inferiores a la mostrada por otras actividades agroproductivas, donde la intensidad y magnitud de la actividad desarrollada en su fase primaria es mucho mayor. Como se ha reiteradamente manifestado *“la planta y el cultivo de la caña de azúcar es comparativamente por su manejo biológico muy noble y relativamente poco intervenido y dependiente de los agroquímicos y la mecanización; esto en proporción a la cantidad de área ocupada y biomasa producida.”*

Pese a ello, la heterogeneidad de los entornos agroproductivos sumados a la diversidad de actividades que conlleva el establecimiento, manejo, mantenimiento y cosecha de una plantación de caña destinada particularmente a la fabricación de azúcar (no de dulce, forraje, uso pecuario u otro), es complejo y muy variable en términos de multiplicidad de los movimientos requeridos, implicados y realizados.

Con el objeto de identificar, ubicar y contextualizar las principales fuentes de emisión de Gases con Efecto Invernadero (GEI) generada por la actividad agrícola o fase primaria de producción de caña en el campo, se presenta el Cuadro 1, en el cual se anotan las principales actividades desarrolladas en cuanto a emisión de CO₂, N₂O y CH₄. Como se infiere de esa información, son numerosas las actividades a partir de las cuales se generan y emiten esos tres gases a la atmósfera, los cuales tienen orígenes diferentes. Como se indicó anteriormente,

el óxido nitroso (N₂O) procedente de los fertilizantes es el gas de mayor afectación e inductor de calentamiento global en el caso particular de la caña.

Cuadro 2. 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
Enmiendas (Encalamiento)	X			X
Fertilización orgánica		X	X	X
Fertilización mineral		X		X
Riego / Drenaje	X			X
Aplicación de agroquímicos *	X	X	X	X
Aplicación de madurantes *	X	X	X	X
Quema de plantaciones		X	X	X
Cosecha* :				
Corta	X	X	X	X
Axe	X	X	X	X
Transporte*:				
Semilla	X	X	X	X
Materia Prima	X	X	X	X
Insumos	X	X	X	X
Personal	X	X	X	X
Equipo y maquinaria	X	X	X	X

Nota: Implican uso de combustibles fósiles (diesel).

En un reciente estudio desarrollado por Montenegro y Chaves (2022) donde se utilizó el análisis de ciclo de vida para identificar las principales fuentes de emisión de GEI en el proceso de producción primaria de la caña de azúcar en Costa Rica, con el fin de generar información base para desarrollar alternativas de mitigación y conocer la eficiencia de emisión del cultivo, aplicada al periodo de zafra 2018-2019, se encontró, como muestra la Figura 2, datos muy disímiles y relativamente desproporcionados. Los resultados revelan que la participación por fuente fue proporcionalmente del 73,6% por parte de los fertilizantes nitrogenados, un 13,2% de las emisiones generada a partir de la quema de biomasa de las plantaciones para su cosecha; un 4,5% por el uso de combustibles fósiles representados en este caso por el diesel en la fase de cosecha y transporte de la materia prima al ingenio para su procesamiento; un 3,8% por las labores de mantenimiento de plantaciones; un 3,3% por uso de equipo mecánico durante la preparación de terrenos, siembra y establecimiento de

plantaciones y apenas un 1,6% por la aplicación de enmiendas, representada en este caso por los correctivos de la acidez del suelo. En términos genéricos el gasto de combustible significó el 11,6%.

Bastante información técnica se ha generado y publicitado sobre las pérdidas de nitrógeno en se dan en el medio sea por nitrificación, amonificación, volatilización, lixiviación y mineralización de la materia orgánica, entre otros mecanismos que tornan ineficiente y poco económica la actividad del nitrógeno aplicado al suelo, como lo mencionaran Montenegro y Chaves (2009, 2011, 2012, 2022) y Chaves (1999bc, 2010, 2020dk, 2021eijlmq). Adicionalmente se sugiere y recomienda incursionar en la investigación y validación de otras alternativas interesantes como son las asociadas con fertilización foliar, la fijación biológica de nitrógeno, la aplicación de fertilizantes de liberación lenta o controlada y también los denominados productos estabilizados, el empleo de agentes microbiológicos, el uso de fertilizantes orgánicos y abonos verdes, entre otras opciones, como lo apuntara Chaves (2017, 2020l, 2021gq).

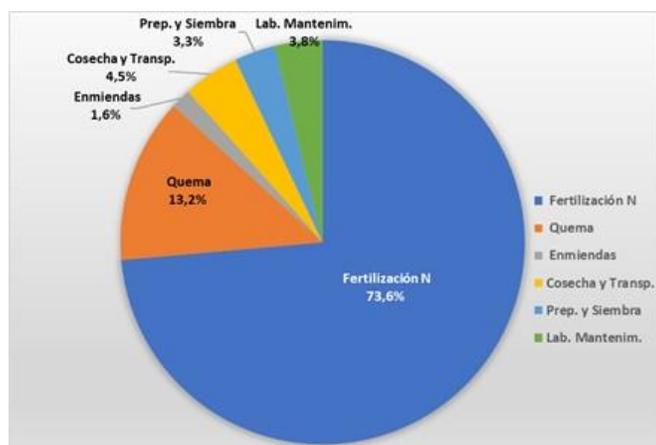


Figura 2. Emisiones GEI en caña de azúcar según fuente (Montenegro y Chaves, 2022)

Como indicaran y recomendaran los autores del estudio con base en los resultados obtenidos *“De acuerdo con el análisis realizado, las acciones de mitigación que se implementen deben de enfocarse y concentrarse prioritariamente en regular y optimizar el uso de los fertilizantes nitrogenados, y procurar la reducción de la práctica de quemar las plantaciones para realizar su cosecha, que de manera conjunta representan el 87 % del total de la emisión identificada en la actividad primaria.”*

¿Dónde actuar?

Con base en lo anotado en el Cuadro 2 se tiene que son varias las actividades de campo en las cuales se generan y emiten esos gases, las cuales pueden resumirse en cuatro grandes áreas: 1) uso de combustibles fósiles (diesel), 2) aplicación e incorporación de enmiendas al suelo (correctivos de acidez), 3) aplicación de fertilizantes nitrogenados (orgánicos y sintéticos) y 4) quema de biomasa vegetal durante la cosecha de la plantación.

El Cuadro 3 desagrega y detalla por su parte de manera específica y ordenada en cuatro tópicos puntuales, las 36 labores y actividades identificadas donde ocurren y se generan esas emisiones, ubicándolas en lo concerniente a: a) labores mecánicas vinculadas con la preparación de suelos, siembra, transporte y movilización de insumos, b) cosecha de plantaciones (mecanizada y semimecanizada) y transporte de materia prima y mano de obra cuando es manual, c) materiales e insumos empleados y d) quema de la biomasa de la plantación para su cosecha. Como es lógico pensar la ejecución, intensidad y magnitud de las mismas se diferencian y varían de acuerdo con la región productora y el entorno agroproductivo donde se produce la caña; esto interpretado en cuanto a relieve (plano, ondulado, quebrado), topografía (grado de pendiente), condición climática prevaeciente en especial el patrón de lluvias, condición de acidez de los suelos, grado de fertilidad de los suelos, nivel tecnológico adoptado, expectativa productiva agroindustrial esperada alcanzar, potencial mecanizable, capital disponible, extensión de la unidad productiva (ha), tipología de tenencia de la tierra, incorporación de economías de escala, distancia (km) de la finca al ingenio o punto de entrega de la materia prima cosechada, entre otros (Angulo *et al*, 2020; Barrantes y Chaves, 2020; Calderón y Chaves, 2020; Chaves y Barquero, 2020; Chaves *et al* 2018; Chaves, 1999b, 2019eg, 2020mn, 2021cfp, 2022; Chaves y Chavarría, 2021ak).

No puede ni resulta prudente en consideración a esa manifiesta heterogeneidad y variabilidad generalizarse el grado de emisiones generado, razón por la cual cualquier estimación debe partir de valoraciones regionales, locales y puntuales a nivel de finca. No queda por tanto duda que las fuentes de emisión son múltiples por su origen y naturaleza, por lo que cualquier esfuerzo sectorial, institucional o empresarial que se realice por tratar de mitigarlas, debe orientarse estratégicamente a controlarlas en su fuente de origen. La información de los Cuadros 2 y 3 es muy elocuente y reveladora sobre donde debe técnica y administrativamente actuarse para lograr resultados satisfactorios.

Es muy importante tener claro y dar por cierto que las acciones de mitigación que se realicen con el objeto de contrarrestar la emisión de

GEI, nunca deben afectar e ir en detrimento de la productividad agroindustrial del cultivo, lo cual sería contraproducente y un verdadero contrasentido. Esa consideración no resulta opcional ni tampoco negociable. Lo razonable y sensato en esta materia es que los ajustes y mejoras incorporadas al sistema de producción se materialicen en beneficios en todos los sentidos: productivos, económicos y ambientales; motivo por el cual deben estar asociados a principios relacionados con el desarrollo sostenible, la ecoeficiencia, la optimización en el uso de recursos y la rentabilidad de la agroempresa cañero-azucarera.

Cuadro 3. Actividades (36), labores e insumos generados de GEI.

Labores mecánicas	Cosecha y transporte	Insumos, materiales y otros
Aplicación de fertilizantes	Transporte de cal a finca	Enmiendas agrícolas
Aplicación de fungicidas	Transporte de cal dentro de finca	Abonos orgánicos
Aplicación de herbicidas	Transporte de agua/agroquímicos	Fertilizantes sintéticos
Aplicación de insecticidas	Transporte de tubería/ riego	Quema de biomasa
Aplicación aérea de madurantes	Transporte de fertilizantes a finca	
Auada	Transporte de fertilizantes dentro de finca	
Desaporca/aporca	Transporte de mano obra	
Escarfido	Transporte de semilla	
Escarificación	Carga de caña larga	
Nivelación	Cosechadora mecánica	
Rastreada	Transporte de caña en camión	
Riego/drenaje	Transporte de caña corta	
Subsolado	Transporte de caña larga carga mecanizada	
Subsolado profundo	Transporte de mano obra	
Surcada	Transporte de caña larga carga manual	
Tapado de semilla	Transporte de cargadora	

Áreas de gestión por abordar y acciones por implementar para el diseño de un NAMA Caña

Con el objeto de aportar elementos básicos que contribuyan con el diseño, formulación, implementación y ejecución de un NAMA ajustado expresamente a la fase primaria (agrícola) del cultivo de la caña de azúcar en Costa Rica, seguidamente se anotan algunos temas, prácticas, actividades y acciones que pueden generar importantes beneficios a la iniciativa ambiental propuesta desarrollar; la cual como se indicó, va estrechamente ligada al incremento de la productividad agroindustrial.

Como está suficientemente demostrado, las condiciones y los entornos de producción de la caña destinada a la fabricación de azúcar en Costa Rica, son contrastantes, heterogéneas y muy disímiles entre sí (Figura 3), la cual está concentrada y organizada en seis regiones agrícolas bien caracterizadas y tipificadas que definen y determinan en alto grado las características de los sistemas empleados en la producción y cosecha de la materia prima producida, como lo han señalado y referenciado Angulo *et al* (2020), Barrantes y Chaves (2020), Calderón y Chaves (2020), Chaves y Barquero (2020), Chaves

et al (2018), Chaves *et al* (2019), Chaves y Chavarría (2021ab) y Chaves (2019acefg, 2020abefgjmn, 2021bf, 2022).

En esta compleja misión debe en primera instancia evitarse incurrir y superar los comunes y habituales errores y omisiones técnico-administrativas que sacrifican productividad y cuestan dinero en la agroindustria azucarera, como lo indicara y demostrara Chaves (2015); además de considerar y tener presente la problemática que aqueja a cada localidad productora (Chaves *et al*, 2019), lo cual aplica y extiende a todos los ámbitos de la empresa cañera: *administrativo, financiero, tecnológico, legal y vale reconocer, ambiental*. A esos errores y omisiones deben considerarse y agregarse adicionalmente las nuevas áreas potenciales de gestión institucional y empresarial que pudieran eventualmente surgir como apoyos para alcanzar el objetivo pretendido.

Para ordenar temáticamente las aportaciones, seguidamente se anotan y detallan 315 asuntos específicos aplicados en calidad de sugerencias, actividades, prácticas, acciones y recomendaciones de diversa naturaleza que se concentran en siete áreas estratégicas, que son:

- A. Institucional - Sectorial
- B. Nutrición
- C. Suelos
- D. Mejoramiento genético
- E. Prácticas agronómicas y manejo de plantaciones
- F. Energía
- G. Residuos agroindustriales

Dicho ordenamiento facilita la inclusión y comprensión de los aportes por área temática de interés o importancia, para lo cual cada tópico se desagrega a su vez en otros 19 asuntos puntuales atinentes a los temas valorados. Bajo esta estrategia es posible atender las demandas, necesidades y opciones sugeridas y recomendadas con mayor certeza. El Cuadro 14 expone un detalle cuantitativo de lo que seguidamente se detalla y desarrolla expresamente en términos de contenido temático. La indicación de dicha información es por razones obvias de espacio limitado muy sucinta, resumida y concentrada, por lo cual su interpretación corre y aplica en el mismo sentido. El ordenamiento mantiene una numeración corrida hasta completar las 315 sugerencias.

Cuadro 4. Áreas prioritarias (315) de gestión y acción institucional orientadas a mitigar los Gases de Efecto Invernadero (GEI) en el cultivo de la caña de azúcar en Costa Rica.

Práctica / Acción / Tópico / Asunto	
A	SECTORIAL - INSTITUCIONAL
1	Crear un Programa Sectorial de Investigación y Transferencia de Tecnología Agropecuaria (PITTA) Caña de Azúcar como parte del Sistema Nacional (SNITTA)
2	Fortalecer la operación de los Comités Técnicos Regionales (COTER) como órganos sectoriales de planificación, coordinación y fiscalización de las actividades técnicas e institucionales desarrolladas a nivel regional
3	Buscar acercamientos, suscribir y mantener convenios con centros nacionales e internacionales de investigación altamente especializados (Academia, INTA, CENICAÑA, CENGICAÑA, RIDESA, CINCAE, INICA, USDA, EMBRAPA, EEAOC, CIDCA, SRA, CTC, etc.)
4	Identificar y negociar acceso a fuentes de financiamiento nacional (FITACORI, FUNDECOOPERACIÓN, INDER, INFOCOOP, INTA, MICT, MINAE, Sistema de Banca para el Desarrollo (SBD), Sistema Bancario Nacional público-privado (SBN), Academia (UCR, UNA, ITCR, UTN)) e internacional (AED, AFD, Banco Alemán DEG, BCIE, BID, CATIE, FAO, FONTAGRO, GEF, GIZ, JICA, PNUMA,) de fondos reenvolvables y no reenvolvables para accionar proyectos de interés común sobre tópicos generales del cultivo en especial genéticos y de nutrición. En esta materia opera el cofinanciamiento compartido de proyectos.
5	Integrar al INA, INDER, INTA, MAG, MINAE, IICA, CATIE, Academia, en las acciones de capacitación desarrolladas en materias técnicas, administrativas, económicas, de buenas prácticas agrícolas y afines con materias ambientales, agroproductivas de investigación, capacitación y transferencia tecnológica
6	Regional y localmente se debe disponer de registros climáticos actuales, representativos y confiables; preferiblemente en tiempo real. Sector debe crear y operar "Red Climática Azucarera". Suscribir adicionalmente un Convenio con el Instituto Meteorológico Nacional (IMN) para adquirir información, capacitar, dar mantenimiento y orientar el proceso de formalización de la Red. Buscar financiamiento con Banco Alemán DEG
7	Levantar un mapa fisicoquímico nacional actualizado de suelos con alcance semidetallado, estableciendo grados de fertilidad actual y su potencial agroproductivo. El mismo debe considerar particularmente los contenidos de materia orgánica (carbono) presentes en el suelo
8	Incorporar, integrar y promocionar en todas las actividades sectoriales, principalmente de mercadeo y comercialización desarrolladas, el concepto de "Producto Bajo en Emisiones"
9	Diseñar un Manual de Buenas Prácticas Agrícolas (MBPA) del sector azucarero orientado a desarrollar de manera puntual tópicos atinentes al cultivo y su manejo
10	Diseñar, promulgar y socializar la implementación y aplicación permanente entre los productores, de un Sistema de Registro de prácticas y actividades basado en indicadores representativos y reveladores: <i>insumos utilizados, productividad alcanzada, edad y momento de ejecución y aplicación de insumos, variedades sembradas, número cosechas, etc.</i>
11	El enfoque de mitigación debe ser en la práctica de campo de carácter integral y asociado directamente con la mejora de las plantaciones y el incremento de la productividad agroindustrial del cultivo y no apenas orientado a mitigar fuentes de emisión GEI
12	Diseñar e implementar un amplio y estratégico programa de capacitación nacional operado regionalmente fundamentado en el establecimiento de parcelas piloto, demostrativas y fincas modelo
13	Promocionar e implementar un sistema sencillo de contabilidad que cuantifique la situación financiera desagregada por lote y finca: <i>costos, ingresos, balance</i>
14	Asegurar que los almacenes regionales proveedores de insumos (Cámaras y cooperativas) dispongan de los insumos técnicamente recomendados
15	Valorar la posibilidad de que algunas materias primas e insumos sean adquiridos sectorialmente (proveduría común), superando la tradicional gestión individual
16	Recolectar, organizar, disponer para consulta y socializar material técnico-científico publicado en Costa Rica relacionado con el cultivo y la agroindustria
17	Conformar un Comité Técnico (sector, LAICA) permanente gerenciado por un responsable (Secretaría Ejecutiva) como instancia encargada de integrar, coordinar, articular, fiscalizar y orientar los esfuerzos interinstitucionales y público-privados trazados por la NAMA como objetivos y metas intermedias y finales
18	Diseñar, formalizar, implementar y desarrollar un sistema efectivo de gobernanza (sectorial, institucional) y Medición-Reporte-Verificación (MRV-Caña de azúcar) que opere en estrecho vínculo y articulación con las unidades responsables de ejecución. Formular y operar protocolos específicos según área de gestión.
19	Redactar, publicar y socializar un Manual de Recomendaciones Técnicas sobre el cultivo de la caña de azúcar que recoja las generalidades del cultivo y la agroindustria en general
20	Redactar, publicar y socializar Guías de Cultivo Regionales (6) que orienten al agricultor sobre las acciones técnicas específicas a seguir para desarrollar una plantación comercial de caña



Figura 3. Entornos agroproductivos de caña de azúcar en Costa Rica.

Cuadro 5. Áreas prioritarias (315) de gestión y acción institucional orientadas a mitigar los Gases de Efecto Invernadero (GEI) en la caña de azúcar en Costa Rica.	
Práctica / Acción / Tópico / Asunto	
B	NUTRICIÓN
B.1	Fertilizantes nitrogenados
21	Concentrar y pragmatizar el enfoque nutricional en buscar y lograr incrementar la productividad agroindustrial y reducir los costos asociados, buscando optimizar el concepto y la práctica agrícola
22	Aplicar los nutrimentos con base en el resultado del análisis fisicoquímico del suelo
23	Incorporar como complemento en la toma de decisiones al fertilizar el criterio basado en antecedentes, experiencias y conocimiento adquirido en el lugar: <i>criterio experto</i>
24	Incorporar el criterio foliar y de contenido en tejidos como complemento para interpretar necesidades nutricionales. Se debe investigar (o adaptar) para establecer criterio de niveles críticos en el ámbito nacional
25	Emplear fuentes nitrogenadas especiales y apropiadas por su forma y mecanismo de acción de liberación controlada, lenta y estabilizados. Valorar su disponibilidad, factibilidad técnica y relación beneficio/costo
26	Favorecer y promover el uso de fuentes orgánicas y recursos biológicos apropiados
27	Dar especial atención y prioridad al tema de la fijación biológica de N implementando proyectos de investigación sobre el tema (especies, cepas, grados, interacciones)
28	Validar la efectividad y eficiencia real de las fuentes nutricionales biológicas disponibles en el mercado. Identificar las que tienen potencial real y no solo comercial
29	Promover el mejoramiento de las formulaciones comerciales de base nitrogenada disponibles en el mercado. Proponer y promover formulaciones apropiadas
30	Diferenciar y seleccionar la fuente requerida y que mejor se ajusta con las necesidades específicas concordantes con el ciclo vegetativo del cultivo, sea caña planta o retoño (soca); así como también con el momento fenológico que atraviese la planta en su fase natural de crecimiento y desarrollo (germinación, retoñamiento, ahijamiento, encepamiento, crecimiento). La cantidad de cosechas (cortes) incorporada también cuenta en esta selección
31	Conocer la compatibilidad existente entre las fuentes de fertilizantes que serán utilizadas en el campo
32	Considerar el o los nutrimento(s) complementario(s) o acompañante(s) que componen la fuente de N, como son SO_4^{2-} , Ca, Mg, B; lo cual es muy relevante pues contribuye con la nutrición integral de las plantaciones
33	Conocer la proporción relativa de la fuente nitrogenada presente en la formulación, sea nitrato (NO_3^-) o amonio (NH_4^+) es muy importante
34	Evitar el uso predominante y continuo de una misma fuente (amónica o nítrica), pues puede interferir y condicionar la acidez y modificar el complejo de intercambio del suelo
35	Tener conocimiento y control de elementos contaminantes, no nutritivos, que pudiesen estar contenidos en las fuentes fertilizantes empleadas
36	Considerar si la formulación comercial empleada es de presentación comercial química o física (valorar relleno)
37	Adaptar las fórmulas fertilizantes comerciales recomendadas a las condiciones particulares y específicas del entorno agroproductivo donde serán empleadas, lo cual implica interceder ante las empresas proveedoras y formuladoras
38	Ubicar estrictamente la dosis aplicada al contexto y condición particular de la localidad y la unidad productiva donde será aplicada
39	Las dosis recomendadas e incorporadas deben ser afines y consecuentes con el nivel y el potencial real de productividad agroindustrial de la localidad y la condición particular de manejo. Debe evitarse mucho N para poca producción, lo que aplica para todos los nutrimentos
40	Implementar la fertilización integral (nutrición) y no apenas parcial (N-P-K). Promover el uso complementario de micronutrientes y otros "elementos esenciales"
41	Es imperativo revisar con detalle regional y local los programas de fertilización comercial incorporados al suelo valorando: <i>dosis, fórmulas, fuentes, época y forma de aplicación</i>
42	Habilitar la fertilización bajo criterio de Tasa Variable y no Tasa Fija. Facilitar y favorecer la adquisición de los equipos mecánicos y programas requeridos
43	Valorar la posibilidad, necesidad y viabilidad de fraccionar la adición del fertilizante de acuerdo con las condiciones edafoclimáticas y ciclo vegetativo particulares
44	Aplicar el fertilizante con la condición de humedad deseada y necesaria que asegure su actividad en el suelo y la planta
45	Asegurar la incorporación del fertilizante en el suelo
46	En plantaciones ubicadas en relieves quebrados (Turrialba, Valle Central, Zona Sur) debe diferenciarse y discriminarse el manejo de la fertilización, pues las condiciones y necesidades de cada sección del terreno (alta, media, baja) son diferentes
47	Emplear formulaciones bien concentradas en nutrientes que reduzcan la cantidad de sacos que se deben adquirir, transportar, almacenar, llevar al campo y distribuir en la plantación; lo cual sin lugar a duda impacta los costos y facilita la operación técnica
48	Asegurar la correcta y adecuada calibración y manejo de la abonadora mecánica cuando es utilizada para lograr un uso eficiente y óptimo del fertilizante
49	Ubicar el fertilizante aplicado muy próximo a la zona de raíces absorbentes; muy cerca de la banda de plantas y preferiblemente incorporado al suelo y tapado (5 cm) con tierra
50	Evitar aplicar fertilizante en áreas donde no existe biomasa caña (camminos, rondas, fuentes de agua). Aplicaciones granulares por vía aérea no son recomendables
51	Valorar la factibilidad de contar en el sector con un laboratorio especializado para el análisis de muestras foliares y de suelo. Instalarlo por recomendación en DIECA
52	Informar, capacitar y adiestrar al productor de caña sobre temas afines y atinentes con la nutrición del cultivo
53	Capacitar a los aplicadores de fertilizante sobre criterios que induzcan eficiencia y ahorro en el empleo del insumo
54	Investigar integralmente el tema nutricional en la interrelación de sus componentes suelo-agua-planta-atmósfera
55	Resulta imperativo investigar y validar en el campo las diversas opciones comerciales de fertilización vía foliar que existen en el mercado. Debe orientarse con fundamento técnico al agricultor en esta materia
56	Investigar nuevas fuentes potenciales de agentes e insumos que favorezcan la nutrición en el área biológica y microbiológica
57	Formular, implementar y operar un amplio programa integral y articulado de investigación en nutrición con visión y ejecución regional
58	Investigar en lo específico a nivel regional las fuentes y cantidades de emisión de N_2O , CH_4 y CO_2 generadas por las plantaciones comerciales de caña. Desarrollar programa interinstitucional
59	Ubicar estratégicamente a nivel regional estaciones permanentes de medición de GEI que sirvan de referencia para conocer el grado de emisiones prevalente
60	Coordinar con Cámaras de Productores y almacenes regionales proveedores de fertilizantes el tipo, la calidad, el acceso y el precio de los insumos proveídos
61	Desarrollar y negociar con empresas formuladoras de fertilizantes comerciales insumos (fuentes y fórmulas) apropiados y ajustados para el cultivo y la región
62	Asociar y vincular la fertilización en una integración horizontal con áreas temáticas afines como son el uso de enmiendas, abonos verdes, prácticas de conservación de suelos, agricultura de precisión, manejo agronómico de plantaciones, riego, clima, etc.
63	Interceder y liderar las recomendaciones técnicas vinculadas con el cultivo, particularmente las asociadas con nutrición y agroquímicos, evitando la confusión y distracción generada al productor emanada por empresas con intereses estrictamente comerciales. Establecer vínculos adecuados de comunicación. DIECA está llamado y obligado a liderar el tópico
B.2	Abonos orgánicos
64	Investigar y validar (fuentes, contenidos, dosis, proporciones, formas) el complemento fertilizante mineral - abono orgánico como opción nutricional
65	Cuantificar por región productora y país el origen, la naturaleza, calidad y la cantidad de abono orgánico disponible y accesible para el productor de caña
66	Diagnosticar en las zonas productoras de caña el potencial de posibles fuentes o materiales que existan en cantidad y calidad para ser usados en la producción de abono orgánico
67	Incrementar la producción de abonos orgánicos en las regiones donde los mismos sean accesibles a los productores
68	Investigar el efecto productivo sobre los rendimientos agroindustriales de fuentes orgánicas potenciales de nutrición en el área biológica y microbiológica
69	Evaluar la viabilidad y factibilidad técnico-económica (Relación Costo-Beneficio) de usar abonos orgánicos en la nutrición de las plantaciones de caña
70	En lo deseable y posible, es prudente y recomendable evitar quemar la plantación de caña para su cosecha; menos aún los residuos vegetales (RAC) directamente en el suelo
71	Participar, capacitar y adiestrar al productor de caña en la preparación, producción, compostaje y uso de abonos orgánicos. Buscar acercamientos con INA, INTA, MAG, Academia
72	Aprovechar y emular los ejemplos de producción y uso desarrollados por COOPEAGRI y COOPEVICTORIA
73	Apoyar y promover el establecimiento de biofábricas a nivel regional. Buscar recursos y financiamiento viable y accesible
74	Evaluar la viabilidad y factibilidad real de que DIECA pueda ingresar y escalar en la producción de abonos orgánicos
75	Estimular y apoyar el empleo de recursos locales (residuos, derivados) que puedan ser tratados, composteados e incorporados al suelo
76	Apoyar con facilidades y financiamiento a las empresas regionales orientadas a la elaboración de abonos orgánicos
77	Favorecer la creación de PYMES regionales orientadas al área de los insumos orgánicos
78	Reconocer mediante incentivos a los agricultores que utilicen abonos orgánicos a través de Cámaras de Cañeros, instituciones del agro e ingenios
79	Valorar la posibilidad de entregar a cada productor de caña una cantidad de abono orgánico equivalente a la cantidad de materia prima por él entregada
B.3	Abonos verdes
80	Identificar y validar plantas (especies vegetales) con potencial de uso como abonos verdes, en especial leguminosas, adaptables a cada localidad productora
81	Descansar el suelo previo a renovar plantaciones mediante la siembra de leguminosas para la incorporación de biomasa orgánica y N
82	Emplear como cobertura leguminosas (ej. frijol <i>mutuana</i>) en las rondas de las plantaciones de caña para contrarrestar la afectación provocada por malezas y favorecer la reducción de herbicidas
83	Incrementar los sumideros de carbono por medio de la intensificación de la rotación, la asociación intercalada de cultivos y la incorporación al sistema de producción de cultivos de cobertura apropiados
84	En los casos con potencial y viabilidad asegurar la producción, disponibilidad y acceso de semilla de calidad de especies complementarias para el agricultor de caña
85	En unidades productivas pequeñas promover la siembra de leguminosas en los entresucos para mejorar la economía de la empresa y la condición del suelo
86	Promover el intercambio de experiencias con otros sectores, actividades productivas y zonas de producción
87	Favorecer la adquisición y uso de trituradoras de rastrojo y biomasa cañera
88	Favorecer la adquisición y uso de equipos que favorezcan la distribución e incorporación de rastrojo y abonos verdes en el suelo

Cuadro 6. Áreas prioritarias (315) de gestión y acción institucional orientadas a mitigar los Gases de Efecto Invernadero (GEI) en la caña de azúcar en Costa Rica.

	Práctica / Acción / Tópico / Asunto
B	NUTRICIÓN
B.4	Agentes biológicos, biofertilizantes, inoculación bacteriana y mejoramiento de la biomasa microbiana
89	Fortalecer y pragmatizar el concepto de Manejo Integrado de Plagas (MIP) y Manejo Integrado de Cultivo (MIC) como instrumentos para el manejo fitosanitario de plantaciones
90	Incorporar y promocionar el control biológico de plagas y patógenos desarrollado en el sector como instrumento tecnológico diferenciador en la comercialización y venta del azúcar costarricense
91	Reconocer la microbiología de suelos como un área de imperiosa necesidad y con un importante potencial de desarrollo tecnológico por impulsar para elevar la productividad
92	Abrir en DIECA una nueva área temática vinculada y orientada con la microbiología de suelos. Implica contratar un especialista en el ramo e implementar un laboratorio
93	Investigar y validar en campo las múltiples y diversas opciones técnicas existentes en el comercio, seleccionando las que poseen potencial real. Es necesario orientar al agricultor en esta materia
94	Capacitar al productor de manera que permita la comprensión, ejecución y adopción correcta de estas novedosas tecnologías en el campo
95	Investigar nuevas opciones biológicas de uso potencial (lombricultura, micorrizas) en las plantaciones comerciales de caña
96	Estudiar y desarrollar el establecimiento, reproducción y adaptación de microorganismos beneficios en el suelo
97	Impulsar la reproducción y empleo de agentes biológicos <i>Trichoderma</i> spp y <i>Lecanicillium</i> spp, entre otros, con antecedente beneficioso en caña
98	Investigar, validar y tomar criterio técnico en torno al tema del uso de hormonas y bioestimulantes de crecimiento vegetal disponibles en el comercio
99	Impulsar la producción de agentes biológicos en DIECA incrementando y mejorando infraestructura, modernizando equipos y capacidades que favorezcan su escalamiento
100	Generar políticas de apoyo e impulso al programa sectorial desarrollado por DIECA en esta materia
101	Revisar con sentido crítico los alcances y beneficios de la producción y empleo de biofermentos "bioles" obtenidos de microorganismos de montaña en la agroindustria cañero-azucarera
102	Revisar y respetar la reglamentación vigente (SFE) en la materia adaptándola al cultivo y sus procedimientos implicados
103	Aprovechar e impulsar el potencial de gestión de PYMES existente para la producción de biofertilizantes a nivel regional
104	Diseñar y presentar proyectos a organizaciones nacionales (INDER) e internacionales (Banco DEG) que puedan apoyar y financiar el desarrollo de biofábricas regionales

Cuadro 7. Áreas prioritarias (315) de gestión y acción institucional orientadas a mitigar los Gases de Efecto Invernadero (GEI) en la caña de azúcar en Costa Rica.

	Práctica / Acción / Tópico / Asunto
C	SUELOS
C.1	Enmiendas
105	Aplicar insumos (enmiendas) disponibles y necesarios con base en el resultado del análisis fisicoquímico del suelo y la Necesidad de Encalado (NC)
106	Sector debe disponer de un mapa fisicoquímico actualizado de suelos definiendo textura y estableciendo grados de fertilidad, acidez intercambiable, contenido en bases cambiables y necesidades de encalado (NC)
107	Incorporar como complemento en la toma de decisiones el criterio basado en antecedentes, experiencias y conocimiento adquirido en el lugar: <i>criterio experto</i>
108	Favorecer y promover el uso de fuentes orgánicas e inorgánicas apropiadas y recursos biológicos como enmiendas mejoradoras de la condición del suelo
109	Incentivar y validar el uso de compost - vinaza como fertilizante - incorporación de cachaza - uso de microorganismos (<i>Trichoderma</i> , bacterias, etc.).
110	Validar la efectividad y capacidad efectiva de neutralización de la acidez intercambiable (PRNT) de las fuentes encalantes comerciales disponibles en el mercado
111	Dar especial atención y prioridad en materia de corrección de suelos ácidos al uso de dolomita. Revisar el uso de silicatos, yeso agrícola y azufre como correctores, acondicionadores y mejoradores del suelo
112	Situar las enmiendas y fuentes comerciales disponibles idóneas a las condiciones particulares del entorno donde serán empleadas
113	En encalado revisar y fundamentar el uso correcto del insumo en lo concerniente a fuentes, dosis, formas y tiempos de aplicación
114	Interpretar y adecuar correctamente la periodicidad más conveniente de aplicación y corrección del suelo según ciclo vegetativo (siembra, anual, bianual)
115	Investigar en lo específico a nivel regional las fuentes y cantidades de emisión de N ₂ O, CH ₄ y CO ₂ generadas por el uso de N y encalado
116	Asociar y vincular el uso de enmiendas con la fertilización de plantaciones. Ambas prácticas deben operar como parte de un mismo proceso y objetivo: <i>nutrir el cultivo</i>
117	Contabilizar y diagnosticar la disponibilidad de recursos locales (residuos, derivados) que puedan ser tratados, composteados e incorporados como enmiendas al suelo
118	Investigar sobre fuentes potenciales de nutrición, corrección y mejoramiento de suelos en el área biológica y microbiológica
119	Investigar sobre la rotación caña-arroz-caña con el objeto de ampliar el conocimiento sobre sus beneficios
120	Desarrollar iniciativas de investigación, validación y transferencia tecnológica sobre tópicos específicos asociados a las enmiendas
121	Informar, capacitar y adiestrar al productor sobre temas relacionados con el empleo de enmiendas
122	Capacitar a los productores en agricultura orgánica mediante convenios con instituciones especializadas como el INA y el MAG
123	Capacitar a los aplicadores de enmiendas sobre criterios que favorezcan la eficiencia y el ahorro en el empleo y adición de estos insumos
124	Coordinar con Cámaras de Productores y almacenes proveedores de insumos tipo y calidad de enmiendas requeridas y proveídas
125	Procurar financiamiento accesible para la adquisición de equipos de formulación, transporte y aplicación de enmiendas
126	Crear y proveer las condiciones y recursos necesarios que favorezcan el escalamiento e incremento productivo de enmiendas
127	Promover en las regiones la incubación y desarrollo de biofábricas a través de organizaciones de productores como cooperativas, asociaciones, cámaras e ingenios
128	Adecuar y aprovechar la capacidad instalada y existente en DIECA para escalar y promover el uso de sustrato orgánico
C.2	Prácticas de conservación para recarbonización
129	Concientizar sobre la imperiosa necesidad de realizar labores preventivas y oportunas en tiempo para la conservación del suelo y los recursos naturales
130	La conservación de suelos debe implementarse con base en curvas a nivel, orientación de surcos, control de aguas, reducción de erosión, canales guardia y de ladera, siembra en contorno, uso de gavetas, entre otras
131	Ubicar para la condición y contexto particular el tipo, la capacidad y características del equipo mecánico empleado en las labores de conservación por implementar (evitar sobre dimensionamiento)
132	Trabajar la preparación, manejo, nivelación y la operación en condiciones de pendiente en función de las texturas y la profundidad de la capa arable del suelo
133	Buscar y ubicar opciones técnicamente apropiadas para utilizar en condiciones de relieve quebrado como la prevaliente en algunas regiones productoras de caña
134	Fomentar la remanga en plantaciones establecidas en terrenos de ladera
135	Fomentar el uso de barreras vivas (<i>vetiver</i> , <i>botón de oro</i> , <i>itabo</i>) para disminuir el lavado y la erosión hídrica
136	Adaptar en lo posible los equipos empleados en la preparación del suelo y asistencia al trabajo ejecutado sobre rastrojos
137	Promover y favorecer la incorporación de rastrojos en áreas de cosecha en verde
138	Organizar entre empresas y productores la prestación de servicios de trituración de biomasa en el campo
139	Establecer y operar por región y localidad un amplio y visionario programa sectorial permanente y continuo de capacitación y adiestramiento práctico, sobre técnicas de conservación de recursos hídricos, edáficos y biológicos. El mismo debe incluir a los operadores de equipos mecánicos. La participación del INA resulta obligada
140	Establecer alianza con el INA para desarrollar por región cursos sobre buenas prácticas de conservación de suelos con base en la topografía particular de sus áreas de cultivo
141	Como didáctica efectiva se deben establecer y desarrollar modelos de conservación operados en fincas piloto y parcelas demostrativas
142	Possibilitar que los ingenios puedan alquilar los equipos y prestar servicio a los productores interesados en desarrollar esta iniciativa
143	Procurar fuentes de financiamiento viables y accesibles para la adquisición de equipos apropiados (surcador, trituradoras) en condiciones favorables
144	Establecer estratégicamente estaciones de medición de contenidos de Carbono Orgánico en el Suelo (COS) en todas las regiones productoras del país, con el objeto de medirlo en el tiempo y poder llevar un control sistemático del grado de recarbonización

Cuadro 8. Áreas prioritarias (315) de gestión y acción institucional orientadas a mitigar los Gases de Efecto Invernadero (GEI) en la caña de azúcar en Costa Rica.

	Práctica / Acción / Tópico / Asunto
C	SUELOS
C.3	Uso de biocarbón (biochar)
145	Cuantificar la eficacia en el aporte de carbono al suelo inducido por el biochar y su contribución a la mitigación de GEI
146	Investigar contenidos, dosis, formas, condiciones y momentos para aplicar biochar. Generar recomendaciones técnicas para condiciones y entornos diferenciados
147	Investigar posibles fuentes orgánicas (biomasa) opcionales para operar la pirólisis (quema sin oxígeno) que genera y da origen al carbón vegetal o biocarbón
148	Trabajar y asegurar la homogeneidad de fabricación y calidad final del producto comercial disponible
149	Analizar la Relación Costo- Beneficio generada por el empleo de biochar y su viabilidad real para el productor de caña
150	Desarrollar investigación y validación de campo en diferentes entornos y condiciones edafoclimáticas que revelen los efectos del insumo en el tiempo
151	Ubicar y establecer estratégicamente Parcelas Demostrativas en fincas de productores que referencien las bondades del producto
152	Estudiar con sentido crítico y objetivo la disposición y las capacidades de los ingenios para convertir biomasa en biocarbón
153	Informar, capacitar y adiestrar al productor de caña sobre temas relacionados con el empleo de biocarbón en sus plantaciones
154	Evaluar la viabilidad y factibilidad (técnica, financiera, mercado) real de que DIECA pueda ingresar y escalar a nivel comercial en la producción de biocarbón
155	Identificar y acceder a fuentes de financiamiento nacional e internacional para accionar proyectos orientados a instalar plantas regionales de producción de biocarbón
156	Diagnosticar a nivel nacional la situación de la compactación de los suelos, particularmente donde hay mecanización intensa. Operar un programa permanente
C.4	Preparación de terrenos
157	Formular y operar un visionario programa temático pragmático orientado a atender regionalmente el problema asociado con la grave degradación de suelos
158	Adecuar la cadena de labores de preparación y manejo de suelos de acuerdo a su textura, grado de pendiente, humedad y profundidad de la capa arable, entre otras
159	Ubicar y diagnosticar para la condición y contexto particular de cada unidad productiva el tipo, la capacidad y características del equipo mecánico empleado en las labores de preparación por implementar (evitar sobre dimensionamiento)
160	Asegurar que durante la preparación y manejo de los suelos se implementen prácticas y empleen equipos y herramientas que sean adecuadas para su conservación
161	En suelos de ladera con pendiente el manejo y la mecanización debe realizarse con sumo cuidado (arado de cincel) evitando el arado profundo
162	La preparación en suelos compactados debe regirse por protocolos especiales apegados estrictamente al grado de humedad presente
163	En suelos con algún grado de compactación se torna necesario realizar mediciones específicas antes de ejecutar la labor de preparación (ej. penetrómetro), lo que evita el gasto innecesario de energía en maquinaria, favoreciendo el ahorro en combustible y tiempo, reduciendo además la emisión de GEI
164	Los suelos compactados deben habilitarse mediante labores de subsuelo convenientes (equipos, profundidad, humedad) lo que favorece la aireación, el movimiento del agua y el desarrollo espacial de las raíces
165	Evitar durante la nivelación de terrenos realizar grandes movimientos de tierra que deterioran su capacidad productiva, incrementan el gasto y elevan la emisión de GEI
166	Capacitar e informar a productores y operarios de maquinaria, equipos mecánicos y administradores de finca sobre equipos adóneos, mantenimiento preventivo, labores de preparación de suelos y manejo de plantaciones
167	Habilitar fuentes de financiamiento viables y accesibles para la adquisición de maquinaria y equipos apropiados en condiciones favorables
C.5	Fomento de la mínima y/o cero labranza
168	Reconocer, abordar y atacar integralmente el serio problema de degradación sistemática que padecen muchos de los suelos sembrados con caña de azúcar en Costa Rica
169	Promocionar la mínima labranza como una forma de conservar el suelo, su potencial de productividad, reducir el gasto y minimizar la emisión de GEI
170	Promover y favorecer la divulgación y el intercambio de experiencias y prácticas exitosas (acompañamiento técnico) en esta materia
171	La adaptación de la tecnología implica el desarrollo de técnicas y empleo de equipos apropiados para uso en condiciones específicas como suelos compactados (ej. Cañas, Liberia) o de alta pendiente (ej. Juan Viñas, Turrialba, Grecia, San Ramón). Es valioso y oportuno conocer y aprovechar las experiencias aprendidas
172	Generar e implementar la tecnología de manera apropiada para áreas y condiciones productivas, tipo de productor, manejo, clima y suelo muy específicas. Como modelo, la mínima labranza y/o cero labranza es muy particular para emplearse en condiciones muy particulares de manejo
173	Adecuar la cadena de labores de preparación y manejo de suelos de acuerdo a su textura, grado de pendiente y profundidad de la capa arable, entre otras
174	Su implementación conlleva establecer y valorar la Relación Costo - Beneficio implícita sobre todo cuando la expectativa de productividad es alta
175	Desarrollar un amplio y visionario programa de capacitación regional en manejo de suelos y mínima labranza. Impartir cursos prácticos y favorecer el intercambio de experiencias positivas
C.6	Implementación sistemas de "Agricultura de Precisión"
176	Identificar, implementar, desarrollar y validar tecnología específica operada bajo principios de "sitio y precisión" requerida y necesaria para atender tópicos, condiciones productivas y regiones agrícolas particulares
177	Desarrollar una plataforma tecnológica sectorial específica que permita el manejo de información básica, representativa y de calidad con indicadores estratégicos para disponer y operar parámetros técnicos, fotos satelitales, datos climáticos, etc. Alcance debe ser regional
178	Aportar los instrumentos, metodologías y recursos necesarios para el establecimiento, desarrollo y operación de las plataformas tecnológicas regionales requeridas que habiliten las tecnologías potencialmente aplicables. Desarrollar programas formales de capacitación permanente
179	Generar mucha información referenciada, indicadores técnicos, transferencia tecnológica y mucha asesoría técnica. Se debe crear cultura y aportar herramientas para el levantamiento de la información básica requerida e implicada
180	Aplicar módulos climáticos -medición de índices de clorofila MDVI -registro de variables climáticas -humedad -radiación solar -grados día-precipitación- evapotranspiración diaria -viento, entre otros
181	Emplear tecnología y fotointerpretación satelital para acompañar labores de medición de área, preparación de suelos, siembra, densidad poblacional, aplicación de enmiendas, fertilizantes, herbicidas, riego, cosecha, fitosanidad y otras labores de manejo de campo
182	Usar herramientas satelitales que aportan imágenes e índices de medición al cultivo que favorezcan la formulación de mapas de productividad por lote
183	Realizar un análisis integral detallado o semidetallado con caracterización fisicoquímica de suelos de las zonas de cultivo de caña; complementado con un mapa nacional considerando contenidos de materia orgánica (carbono)
184	Adquirir equipos (abonadoras, software) apropiados y desarrollar tecnología para incorporar la fertilización bajo criterio de Tasa Variable superando la tradicional Tasa Fija, buscando generar dosis variables de N
185	Establecer alianzas estratégicas o convenios con universidades y organizaciones con capacidad tecnológica demostrada para formular mapas de suelos que generen recomendaciones apropiadas de fertilizantes (ej. sistema QGIS)
186	Desarrollar e implementar sistemas de información georeferenciada
187	Identificar y habilitar fuentes de financiamiento accesible para atender las inversiones iniciales (interna y externa) requeridas para implementar y operar la tecnología bajo conceptos de alta precisión
188	Favorecer financiamiento para la adquisición y el uso de drones en la aplicación de productos químicos (madurantes, etc.) empleando menos agua
189	Diseñar y operar un programa formal y permanente de capacitación en agricultura de precisión, abordando tópicos vinculados con aplicaciones / dispositivos móviles, sensores remotos, SIG, interpretación de imágenes satelitales de alta resolución (SIMOCUTE)

Cuadro 9. Áreas prioritarias (315) de gestión y acción institucional orientadas a mitigar los Gases de Efecto Invernadero (GEI) en caña de azúcar en Costa Rica.

Práctica / Acción / Tópico / Asunto	
D	MEJORAMIENTO GENÉTICO
D.1	Variedades apropiadas
190	La selección y recomendación de buenas variedades debe tener como elementos primarios orientadores la alta y demostrada productividad agroindustrial, elevada fitosanidad, resiliencia y adaptación a las condiciones adversas y limitantes del entorno donde se desarrollará el proyecto productivo
191	Identificar y seleccionar las zonas más agrestes, con mayor afectación e impacto y más representativas para realizar las pruebas y estudios de selección genética orientadas a lograr mayor resiliencia y adaptación a condiciones adversas de suelo, clima y manejo agronómico
192	Incrementar la cantidad de progenitores, cruzamientos y cantidad de plántulas en evaluaciones de fase de vivero primario, con el objeto de elevar la probabilidad de identificar clones de alto potencial productivo y adaptación
193	Auspiciar y asegurar el acceso del país y el sector productivo a nuevos recursos fitogenéticos
194	Desarrollar y protocolizar tecnología molecular para la identificación de variedades comerciales generando un banco de información genética
195	El programa nacional de selección genética debe introducir y aplicar el criterio de evaluación " <i>Genotipo x Ambiente</i> " con los alcances estadísticos y operativos vinculantes
196	La selección de clones promisorios debe incorporar y desarrollar el concepto de " <i>ecoeficiencia</i> " en los productos genéticos que genere
197	Establecer convenios y acuerdos con Ingenios para desarrollar la fase de vivero primario consignando las responsabilidades técnicas, facilidades y aporte de recursos de las partes suscribientes
198	Dinamizar y agilizar el proceso de selección regional de clones promisorios (elevando nivel de riesgo) sembrando áreas más amplias en fincas de productores seleccionados, con lo que se agiliza adicionalmente la reproducción vegetativa de los materiales seleccionados
199	Acrescentar y dinamizar la fase de validación previa y liberación de clones promisorios y recomendados a nivel de campo (en fase semi comercial)
200	Las variedades mejoradas deben valorarse en torno a su respuesta a requerimientos nutricionales (N) diferenciados como factor obligado a considerar en su liberación
201	Ubicar las dosis óptimas de respuesta nutricional de las variedades de acuerdo con región, orden de suelo, elemento y ciclo vegetativo
202	Utilizar en lo posible tecnologías moleculares de avanzada para acelerar y eficientizar el proceso de mejora genética. Generar los protocolos correspondientes
203	Trabajar en el desarrollo de variedades de alta productividad agroindustrial y maduración temprana, tolerantes y adaptables a condiciones adversas (suelo, humedad y plagas), entre otras
204	Fabricar, liberar y emplear variedades más eficientes en el uso de N, agua y demás recursos. Mucho N no puede ser el determinante de una alta productividad
205	La condición de alto despaje, potencial mecanizable, rusticidad excepcional, baja floración, alto IAF y sistema radicular profuso son atributos inalienables y condicionantes de una buena variedad
206	Informar y capacitar al productor de caña sobre los atributos, características y bondades de las variedades recomendadas, como también de sus limitantes, exigencias y necesidades
D.2	Semilla mejorada de alta calidad y pureza genética
207	Emplear en la siembra de plantaciones comerciales semilla de muy alta calidad vegetativa y pureza genética de las variedades recomendadas
208	Informar y motivar al productor de caña en torno al establecimiento estratégico de semilleros básicos como fase inicial para la reproducción efectiva de material vegetativo de alta calidad y pureza genética
209	Capacitar y adiestrar al agricultor sobre técnicas para el establecimiento de semilleros, uso óptimo y reproducción de semilla de alta calidad y pureza genética
210	En modalidad de " <i>yema prebotada</i> " capacitar sobre la técnica de extraer, mantener la viabilidad y cómo sembrar la yema
211	Informar y capacitar a los productores en relación al establecimiento de semilleros mediante la técnica de " <i>yemas prebotadas</i> ". Difundir, habilitar y promocionar la técnica
212	Desarrollar un programa institucional sectorial visionario y permanente para la producción regional de semilla básica y semicomercial con participación de DIECA, Cámaras de Productores e Ingenios. Las condiciones de acceso deben ser favorables
213	Auspiciar el apoyo de los ingenios en disponer y facilitar el acceso de los agricultores a semilla comercial de alta calidad en condiciones favorables de precio, pago y cantidad (toneladas adquiridas)
214	Establecer y operar mecanismos institucionales facilitadores para adquirir semilla mejorada de manera facilitada
215	Asegurar que los agricultores tengan libre acceso en igualdad de condiciones a las nuevas variedades recién liberadas para uso comercial
216	Ampliar la cobertura a productores para beneficiarse del material reproductivo (plántulas) multiplicado por DIECA por Cultivo de Tejidos <i>in vitro</i> para el establecimiento de semilleros básicos
217	Trabajar con mucha prudencia y carácter excepcional el tratamiento hidrotérmico de semilla virtud del alto costo y gasto en energía implicado

Cuadro 10. Áreas prioritarias (315) de gestión y acción institucional orientadas a mitigar los Gases de Efecto Invernadero (GEI) en caña de azúcar en Costa Rica.

Práctica / Acción / Tópico / Asunto	
E	PRÁCTICAS AGRONÓMICAS Y MANEJO DE PLANTACIONES
E.1	Prolongación longevidad comercial de plantaciones
218	El manejo de plantaciones comerciales de caña debe orientarse fundamentalmente a procurar el incremento de la productividad, la reducción de los costos, la optimización de la Relación Costo-Beneficio y la ecoeficiencia
219	Establecer planes de manejo de acciones sustentadas en indicadores y métricas aceptadas y referenciadas por organismos calificados y referentes
220	Deben inobjetablemente renovarse las plantaciones comerciales agotadas, improductivas y poco rentables
221	Promocionar y acondicionar al entorno agroproductivo particular el empleo de nuevos sistemas de siembra (transversal o en escalera)
222	Implementar un programa nacional de resiembra de plantaciones sustentado en el desarrollo de semilleros básicos y semicomerciales de alta calidad
223	Prácticar la resiembra como instrumento de repoblamiento en secciones de la plantación donde se tienen espacios de siembra con más del 20% sin plantas de caña
224	Realizar muestreos (anuales) de área pérdida en surcos y determinar el momento oportuno de resiembra con plántulas obtenidas preferentemente por la técnica de "yemas prebrotaadas"
225	Habilitar la resiembra de plantaciones con material vegetativo procedente preferiblemente de la misma variedad y edad del cultivo
226	Adecuar las distancias entre surcos de siembra para evitar el pisoteo de los equipos mecánicos y de cosecha
227	Efectuar prácticas de campo destinadas a favorecer el desarrollo sano, fuerte y profuso del sistema radical en términos espaciales en el suelo; de manera que se aumente el anclaje y la capacidad de absorción de agua y nutrimentos
228	Promover el empleo de la desaporca y aporca de plantaciones como práctica apropiada para incorporar el fertilizante, limitar su pérdida y fortalecer la cepa
229	El manejo de las plantaciones debe ser de carácter integral y no solo parcial y específico sobre algunas actividades, lo que debe trascender a la capacitación impartida
230	Es prioritario desarrollar discrecionalmente modelos de producción y manejo de plantaciones según tipologías de productores (pequeño, mediano, grande) y condiciones de la unidad productiva (ladera, mecanizable, semimecanizable, bajos-altos insumos, etc.)
231	Desarrollar investigación sobre tópicos relevantes como distanciamiento, densidad, técnicas y modalidades de siembra (escalera, etc.) lo que reduce costos e incrementa productividad
232	Investigar sobre el uso y beneficio de los inhibidores de floración y los madurantes, particularmente no químicos
233	Diagnosticar y asegurar el mantenimiento de un estado fitosanitario general adecuado, operando acciones preventivas de diagnóstico temprano
234	Agilizar en lo viable y factible el registro de moléculas nuevas con rango toxicológico menor
235	Buscar y establecer alianzas con universidades y centros internacionales con recursos y programas robustos en caña (ej.: Australia, Colombia, Brasil, Guatemala, México, EUA).
E.2	Manejo óptimo del recurso hídrico
236	Concebir y operar el recurso hídrico como factor vital para el éxito productivo procurando su optimización evitando los déficit (sequía) y los excesos (inundación)
237	Incorporar, integrar y articular el tema hídrico con el edáfico y el climático como determinantes del éxito productivo agroindustrial de una plantación
238	Investigar y validar sistemas de riego, balance hídrico (uso consuntivo del cultivo), período crítico de aplicación, eficiencia según tipo (textura) de suelo y volumen óptimo por adicionar
239	Promover el uso de equipos portátiles para la medición y determinación de humedad en el suelo
240	Procurar apoyo con financiamiento para reducir el riego por gravedad y conducir a sistemas más eficientes y/o adaptables como riego por aspersión (pivotes, alas viajeras, cañon viajero) o goteo
241	Formular y desarrollar donde corresponda un visionario programa hídrico vinculado con la humedad del suelo que atienda factores como medición, impactos, equipos, requerimientos, costos, etc.
242	Establecer programas de manejo del agua fundamentados en acciones técnicas y prácticas de campo sustentadas en indicadores y métricas aceptadas y referenciadas. Evitar simplemente "echar agua al surco"
243	En zonas de alta precipitación incorporar en la capacitación y recomendaciones de manejo de plantaciones el tema del drenaje y evacuación de las aguas de las plantaciones
244	Diseñar y desarrollar programas regionales de capacitación y adiestramiento sobre manejo integral del agua en las plantaciones comerciales de caña de azúcar

Cuadro 11. Áreas prioritarias (315) de gestión y acción institucional orientadas a mitigar los Gases de Efecto Invernadero (GEI) en caña de azúcar en Costa Rica.

Práctica / Acción / Tópico / Asunto	
E	PRÁCTICAS AGRONÓMICAS Y MANEJO DE PLANTACIONES
E.3	Coberturas vegetales
245	Promover la siembra de leguminosas en asocio y rotación con la caña
246	Seleccionar y recomendar la siembra de variedades de caña de cierre rápido en el entresurco para reducir el uso de agroquímicos (herbicidas, etc.). Revisar los distanciamientos de siembra empleados en función del entorno, la variedad y la mecanización
247	Formular y desarrollar un programa de capacitación, información y transferencia tecnológica sobre el tema de las coberturas vegetales
248	Desarrollar cursos regionales de manejo y control de malezas mediante el empleo de especies de cobertura. Validar la tecnología en fincas modelo
249	Desarrollar investigación y favorecer el conocimiento y el intercambio de experiencias (favorables y negativas)
250	Desarrollar y proteger los corredores biológicos mediante programas continuos de reforestación y cuidado
E.4	Cobertura vegetal con especies arbóreas y arbustivas
251	Promover el establecimiento de especies arbóreas y arbustivas en franjas o áreas de reserva, conectividad, bordes y rondas de fincas, corredores biológicos, etc.
252	Promover la cobertura vegetal y arbolización de espacios vacíos como una estrategia sanitaria y ambiental de fijación de carbono y posible recaudación de recursos económicos extraordinarios
253	Promover la cobertura vegetal con el empleo de especies arbóreas (frutales o maderables) y arbustivas aprovechables
254	Realizar un inventario sobre especies con potencial de cultivo y adaptación a los diferentes sistemas de producción de caña de azúcar en las regiones cañeras
255	Conocer de experiencias nacionales e internacionales exitosas vinculadas con dicha asociación
256	Favorecer la siembra de especies de rápido crecimiento para inducir la fijación de carbono
257	Aprovechar en las empresas azucareras la existencia de Unidades de Gestión Ambiental involucrándolas en el NAMA a nivel regional
258	Buscar alianzas y acercamientos con organizaciones especializadas vinculadas con 17 que favorezcan desarrollar alguna investigación y validación de campo en fincas modelo
259	Formular un programa de información y capacitación sobre el tema de la arbolización en plantaciones comerciales de caña
260	Buscar mecanismos viables y accesibles que favorezcan la reproducción y el acceso a materiales vegetales de especies recomendados
261	Identificar y disponer fuentes de financiamiento accesible y favorecido

Cuadro 12. Áreas prioritarias (315) de gestión y acción institucional orientadas a mitigar los Gases de Efecto Invernadero (GEI) en caña de azúcar en Costa Rica.

Práctica / Acción / Tópico / Asunto	
F	ENERGÍA
F.1	Control y reducción consumo de combustibles fósiles
262	Diagnóstico e inventariar a nivel regional y nacional las características de los equipos empleados en el manejo de las plantaciones comerciales de caña de azúcar en sus diferentes fases de actividad
263	Debe accionarse buscando y auspiciando el fortalecimiento organizacional y la integración institucional en materia de prestación de servicios técnicos por parte de los ingenios en las labores mecanizadas
264	Precisar y relacionar las medidas y recomendaciones implicadas con el uso de equipo y maquinaria de acuerdo con la tipología y características de los productores, el entorno agroproductivo y expectativas productivas, lo que demanda una mejor organización de las Cámaras de Productores y su vínculo con LAICA y los ingenios
265	Identificar, ubicar e invertir en lo posible en equipo y maquinaria moderna, eficiente y accesible de acuerdo con las necesidades particulares de los diferentes entornos y características del sector
266	Implementar medidas orientadas a mitigar emisiones de GEI que sean viables, factibles y de aceptación por los productores (ej. modificación en máquinas, optimizar uso, mantenimiento preventivo, cambio por combustibles más limpios). Enfocar y adaptar las medidas a la realidad y características de los productores de cada región
267	Proponer, formular y desarrollar programas regionales de mantenimiento preventivo de maquinaria y equipo que conduzcan de forma ordenada y sistemática a reducir las emisiones de GEI
268	Establecer, aplicar y cuantificar indicadores de cosecha representativos que evidencien la calidad del proceso desarrollado, incorporando variables referentes tales como pérdidas de campo -ton/caña/hectárea, % de materia extraña, litros diesel gastados/ton caña, arranque de cepas, estado de las cepas y retoños, velocidad de cosecha, toneladas caña/hora máquina, etc. El uso de dichos indicadores es esencial y determinante para la toma correcta y oportuna de decisiones
269	Favorecer el empleo de equipos ajustados a las labores agrícolas que así lo requieran, tanto en preparación de suelos, manejo de plantaciones, cosecha y acarreo de materia prima
270	Trabajar en el diseño y rediseño de lotes sembrados o previstos cultivar con caña para hacer más eficiente el uso de maquinaria agrícola
271	Identificar y adaptar el empleo de nuevos equipos para cosecha de plantaciones en pendiente variable, que puedan picar la materia prima in situ para hacer más eficiente el transporte de la misma al ingenio
272	Desarrollar, adaptar y adoptar tecnología cuando la situación lo permita y justifique con enfoque en equipos de cosecha de mayor capacidad en campo que eleven la eficiencia unitaria
273	Revisar, regular y asegurar la conducción eficiente de equipo y maquinaria tanto dentro como fuera de la finca y la plantación
274	Favorecer y promover las Buenas Prácticas de Gestión con el fin de aumentar la eficiencia en las cosechadoras de caña
275	Insistir en la búsqueda y adaptación de un equipo de cosecha adaptable a corta en verde en pequeñas unidades productivas propias de los pequeños agricultores
276	Instalar un autoguiado a las cosechadoras en procura de mejorar la eficiencia en cuanto a apertura de trochas, tiempos implicados y combustible consumido
277	Procurar y establecer fuentes de financiamiento accesible en condiciones favorecidas para renovar maquinaria enfocada a pequeños y medianos productores de caña
278	Promocionar y de ser viable habilitar el posible uso del bioetanol como combustible alternativo (de transición) para aumentar el valor agregado y la rentabilidad de las operaciones de la agrocadena cañero-azucarera
279	Promover el uso de drones para realizar el control preemergente de malezas en ciclo planta, lo que permite sustituir el empleo de tractores y cuadracillos reduciendo emisión de GEI
280	Desarrollar, adaptar y validar el empleo de drones a nivel regional para aplicar madurantes evitando el empleo de equipos aéreos con lo que se reducen gastos y mitigan emisiones de GEI
281	Buscar e identificar especies oleaginosas para la producción y uso de biodiesel. Estudiar una gestión en esa dirección
282	En ingenios valorar el cambio de sistemas de riego de combustión por sistemas eléctricos
283	Revisar el grado de avance tecnológico implicado con el uso potencial de equipos movidos con gas o hidrógeno verde
284	Habilitar el uso de singas como fuente de energía para riego o sistemas solares
F.2	Cosecha y transporte
285	Se deben promocionar sistemas de preparación del suelo, manejo de plantaciones, cosecha y transporte de materia prima integralmente más eficientes
286	Mejorar la infraestructura de caminos internos de fincas y rutas vecinales para reducir tiempos de transporte, gasto de combustible, costos y emisiones de GEI
287	Accionar para que las Cámaras de Productores, los Ingenios y LAICA intervengan sobre la organización, coordinando la logística de cosecha, el transporte de materia prima y la disponibilidad de mano de obra por sectores planificados
288	Establecer centros de acopio en sitios geográficos estratégicos a partir de donde la materia prima cosechada se transporte en unidades de mayor capacidad (>30 toneladas). Particularmente en localidades alejadas del ingenio, lo que reduce costos, maximiza eficiencia y baja la emisión de GEI. El indicador de costo unitario (€/t/km) resulta determinante de conocer
289	Emplear camiones de mayor capacidad de carga para bajar el costo del transporte. Implica la implementación y el desarrollo de una nueva logística de transporte con uso de cabezales de transporte de 25 a 30 toneladas para lograr una mayor eficiencia y una mayor rentabilidad
290	Organizar el transporte de materia prima en equipos de mayor capacidad que aprovechen las economías de escala, superando la pequeña carreta de baja capacidad (2,5-3 toneladas)
291	Adecuar y reordenar las rutas de transporte, limitando el transporte en unidades pequeñas. Dejar de transportar con tractores y carretas de poca capacidad de carga por largas distancias
292	Establecer mecanismos de prioridad de transporte en carretera en tiempos de zafra para reducir el consumo de combustibles fósiles
293	Buscar fuentes de financiamiento viable, factible y accesible para la adquisición de equipo y camiones modernos
294	Los ingenios deben permitir, favorecer y adaptar el sistema y su infraestructura para el recibo de carretas de mayor capacidad (por sus romanas)
295	Migrar del uso de equipos triples a tetras y velar porque los equipos vengan llenos de acuerdo con su diseño y capacidad de carga
296	La etapa de corta y carga de la caña debe favorecer la eliminación de basura "trash" innecesaria que afecta la capacidad efectiva de carga, eleva los costos, introduce materia extraña a la fábrica y torna ineficiente y oneroso el proceso
297	Asegurar que la materia prima cortada y transportada vaya limpia y bien acomodada en las unidades de transporte mejorando la eficiencia
298	Establecer convenios entre ingenios para el intercambio de molienda de materia prima por ubicación geográfica de plantaciones, lo que reduce el transporte de materia prima y la emisión de GEI
299	Revisar la posibilidad de disponer de camiones con motores eléctricos, promover la importación y desgravación de este tipo de equipos
300	Revisar el posible cambio de la ley para permitir transitar en ruta nacional con unidades de transporte de mayor longitud -mayor carga-

Cuadro 13. Áreas prioritarias (315) de gestión y acción institucional orientadas a mitigar los Gases de Efecto Invernadero (GEI) en caña de azúcar en Costa Rica.

	Práctica / Acción / Tópico / Asunto
G	RESIDUOS AGROINDUSTRIALES
G.1	Biomasa y residuos
301	Diagnósticar e inventariar a nivel regional la cantidad de residuos y derivados producidos por la agroindustria azucarera con potencial de uso y aprovechamiento en el campo
302	Aprovechar para compostaje los derivados y residuos vegetales (RAC) e industriales generados por la agroindustria azucarera
303	Buscar alternativas técnico-económicas viables y factibles para la utilización y aprovechamiento de los residuos de cosecha que favorezcan la eliminación y mitigación de sus impactos por mal uso
304	Darle tratamiento y manejo apropiado e incorporar valor agregado a los residuos y derivados agroindustriales. Diseñar un protocolo de tratamiento, preparación y uso
305	Aprovechar y acondicionar la biomasa vegetal residual (RAC) para reducir el uso de fertilizantes químicos en especial nitrogenados
306	Acondicionar, adecuar y emplear la cachaza como fuente proveedora de N-orgánico
307	Fomentar la práctica de la remanga poscosecha procurando su mecanización
308	Implementar un modelo de economía circular convirtiendo y aprovechando el residuo de una práctica en insumo de la siguiente
309	Investigar y desarrollar experiencia y conocimiento para operar el proceso de transformación eficiente y rentable de residuos en abono orgánico
310	Investigar y generar protocolos operativos sobre manejo de temperatura, intervalos de remoción, identificación y uso de bacterias descomponedoras eficientes, Relación C/N, aporte nutricional (N), cantidad de remociones, condiciones para área de composteo - Investigar sobre techado, tipo de piso, recolección de lixiviados, etc.
311	Formular a nivel regional programas prácticos que orienten en torno al manejo de residuos poscosecha en plantaciones en ciclo soca
312	Realizar estudios de Relación Costo-Beneficio asociados con la preparación, conversión, transporte, y aplicación de residuos y derivados agroindustriales en plantaciones de caña
313	Aprovechar la amplia experiencia cubana en esta materia. Buscar acercamientos
314	Capacitar y adiestrar en la recolección, manejo y tratamiento de residuos y derivados de la agroindustria azucarera. Aprovechar experiencia internacional
315	Diseñar y poner a disposición del sector productor un protocolo de buenas prácticas para el manejo de RAC y residuos industriales

Fuente: Propuesta formulada por el autor.

Detalle cuantitativo de áreas de gestión programática

Con el objeto de contar con una valoración cuantitativa y genérica de los 315 asuntos propuestos revisar, evaluar en su pertinencia y desarrollar organizados en los 7 ejes temáticos aplicados y mostrados, se presentan el Cuadro 14 y la Figura 4 con el detalle de la distribución de la información incorporada. Como se infiere de la misma, es el área de los Suelos la que más asuntos y propuestas de mejora recoge con el 27,0% (85 asuntos), seguido por los de Nutrición de la planta con el 26,7% (84), las Prácticas Agronómicas y el Manejo de Plantaciones con el 14,0% (44), los correspondientes a tópicos vinculados con la Energía y el gasto de combustibles fósiles con el 12,4% (39), el área del Mejoramiento Genético relacionado con las variedades cultivadas con un 8,9% (28), las sugerencias de índole Institucional - Sectorial con el 6,3% (20) y los atinentes y asociados con el manejo de los Residuos Agroindustriales con el 4,8% correspondiente a 15 asuntos.

En lo específico y particular es el tópico de los Fertilizantes Nitrogenados el tópico técnico que más menciones mantiene con el

13,6% (43) del total, seguido por las Enmiendas aplicadas al suelo con el 7,6% (24) lo que ratifica al área de la nutrición como la más trascendente al incorporar y representar conjuntamente el 21,3% de las propuestas para un total de 67 asuntos. Lo anterior es consecuente y congruente con lo señalado y recomendado por Montenegro y Chaves (2022), al señalar ese tópico como el estratégicamente más incidente y por tanto de mayor preocupación al implementar medidas pragmáticas orientadas a mitigar los GEI. Mucha información técnica existe y se ha generado sobre esos dos tópicos tecnológicos que puede ser prudentemente revisada y considerada para contar con elementos bien fundamentados que favorezcan formular una estrategia de mejora sólida y bien concebida. En el área de la nutrición y la fertilización nitrogenada los documentos publicados por Chaves (1999ac, 2010, 2012, 2016abc, 2017, 2019bd, 2021dehm) ubican y contextualizan el tema; vinculado también con el referente al uso de enmiendas al suelo (Chaves 1993, 1999bc, 2017, 2020h). Las quemas de biomasa para la cosecha merecen igualmente un tratamiento particular (Chaves, 2021a).

Cuadro 14. Detalle cuantitativo de las áreas de gestión para mitigar GEI.

Nº	Actividad - Labor - Práctica	Nº	%
A	INSTITUCIONAL - SECTORIAL	20	6,35
B	NUTRICIÓN	84	26,67
B.1	Fertilizantes nitrogenados	43	13,6
B.2	Abonos orgánicos	16	5,0
B.3	Abonos verdes	9	2,8
B.4	Agentes biológicos, biofertilizantes, inoculación bacterial y mejoramiento de la biomasa microbiana	16	5,0
C	SUELOS	85	26,98
C.1	Enmiendas	24	7,6
C.2	Prácticas de conservación para recarbonización	16	5,0
C.3	Uso de biocarbón (biochar)	11	3,4
C.4	Preparación de terrenos	12	3,8
C.5	Fomento de la mínima y/o cero labranza	8	2,5
C.6	Implementación sistemas de "Agricultura de Precisión"	14	4,4
D	MEJORAMIENTO GENÉTICO	28	8,89
D.1	Variedades apropiadas	17	5,4
D.2	Semilla mejorada de alta calidad y pureza genética	11	3,4
E	PRÁCTICAS AGRONÓMICAS Y MANEJO DE PLANTACIONES	44	13,97
E.1	Prolongación longevidad comercial de plantaciones	18	5,7
E.2	Manejo óptimo del recurso hídrico	9	2,8
E.3	Coberturas vegetales	6	1,9
E.4	Cobertura vegetal con especies arbóreas y arbustivas	11	3,4
F	ENERGÍA	39	12,38
F.1	Control y reducción consumo de combustibles fósiles	23	7,3
F.2	Cosecha y transporte	16	5,0
G	RESIDUOS AGROINDUSTRIALES	15	4,76
G.1	Biomasa y residuos	15	4,7
	TOTAL	315	100

Figura 3. Áreas prioritarias de acción según temática.

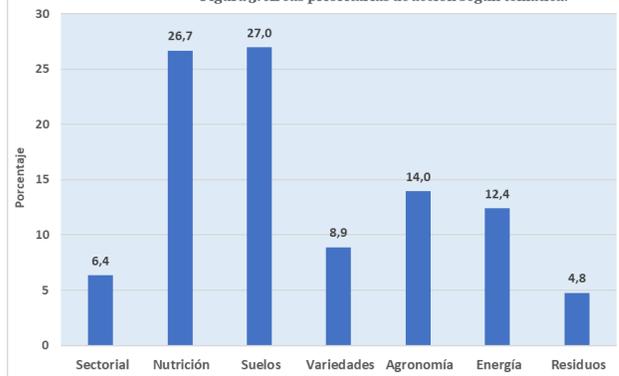


Figura 4. Áreas prioritarias de acción según temática.

Acciones recomendadas para reducir y mitigar GEI

En un ejercicio muy puntual y estricto de priorización se identificaron y seleccionaron un total de 68 acciones específicas promotoras y favorecedoras de mitigación de GEI, las cuales por su actualidad, viabilidad, oportunidad e impacto se consideran esenciales de incorporar en cualquier estrategia sectorial orientada a ese objetivo. Dichas medidas contribuyen además ostensiblemente con la mejora de las condiciones agroproductivas del cultivo, y con ello a favorecer el aumento de los rendimientos agroindustriales y a mejorar la rentabilidad de la empresa.

En los Cuadros 15 y 16 se exponen con detalle las 68 sugerencias técnicas contenidas en los 7 ejes estratégicos ya comentados en la siguiente proporción: Cultivo con el 27,9% (19 asuntos), Nutrición-Fertilización con el 23,6% (16), Institucionales-Sectoriales con un 14,7% (10), Suelos con un 13,2% (9), Combustibles Fósiles con el 11,8% (8), aplicación de Enmiendas con un 5,9% (4) y las vinculadas con el manejo de Residuos al reportar 2 tópicos para un 2,9%. La predominancia de las recomendaciones orientadas a favorecer la condición del cultivo, ratifica el interés y disposición a mejorar la condición de productividad y rentabilidad.

Cuadro 15. Acciones (68) a desarrollar según área de gestión para reducir y mitigar la emisión de Gases de Efecto invernadero (GEI) en Costa Rica.	
Nº	Actividad - Labor - Práctica
A INSTITUCIONAL - SECTORIAL	
1	Organizar y trazar un plan estratégico para el manejo planificado de la unidad productiva: <i>asignación y distribución de recursos y labores, tiempos implicados, áreas, etc.</i>
2	Desarrollar e implementar a nivel de finca un sistema de registro apropiado con indicadores representativos y reveladores por lote y unidad productiva: <i>insumos utilizados, productividad alcanzada, edad y momento de ejecución y aplicación de insumos, variedades sembradas, número cosechas, etc.</i>
3	Implementar un sistema sencillo de contabilidad que cuantifique la situación financiera desagregada por lote y finca: <i>costos, ingresos, balance</i>
4	Disponer de información meteorológica apropiada, actual y representativa que oriente sobre el posible comportamiento del clima en el lugar
5	Aprovechar en las empresas azucareras la existencia de Unidades de Gestión Ambiental involucrándolas en el NAMA a nivel regional
6	Diseñar e implementar un amplio y estratégico programa de capacitación nacional operado regionalmente fundamentado en el establecimiento de parcelas piloto, demostrativas y fincas "modelo"
7	Diseñar un Manual de Buenas Prácticas Agrícolas (MBPA) del sector azucarero orientado a desarrollar de manera puntual tópicos atinentes al cultivo y su manejo
8	Revisar, dar contenido, implementar y operar en lo pragmático el concepto de "Zafra Ideal" integrando, articulando y optimizando todas las actividades implicadas en el establecimiento y manejo del cultivo y muy particularmente lo concerniente a la fase de cosecha
9	Asegurar que los almacenes regionales proveedores de insumos (Cámaras y Cooperativas) dispongan de los insumos técnicamente recomendados. Valorar la posibilidad de que algunas materias primas e insumos sean adquiridos sectorialmente (proceduría común), superando la tradicional gestión individual
10	Diseñar, formalizar, implementar y desarrollar un sistema efectivo de gobernanza y Medición-Reporte-Verificación (MRV-Caña de azúcar) que opere en estrecho vínculo y articulación con las unidades responsables de ejecución. Formular y operar protocolos específicos según área de gestión
B CULTIVO	
11	El enfoque de mitigación debe ser en la práctica de campo de carácter integral y asociado directamente con la mejora de las plantaciones y el incremento de la productividad agroindustrial del cultivo y no apenas orientado a mitigar fuentes de emisión GEI
12	Adecuar, ajustar y acondicionar las prácticas de manejo de plantaciones al estado fisiológico y fenológico del ciclo vegetativo
13	Trabajar en el aseguramiento sostenible de la fitosanidad integral de la plantación, pragmatizando el concepto de Manejo Integrado de Plagas (MIP) y Manejo Integrado de Cultivo (MIC)
14	Adaptar e implementar sistemas de "Agricultura de Precisión" que aumenten la eficiencia de las prácticas agronómicas incorporadas, posicionada pragmáticamente mediante la "agricultura de sitio"
15	Desarrollar una plataforma tecnológica sectorial específica que permita el manejo de información básica, representativa y de calidad con indicadores estratégicos para disponer y operar parámetros técnicos, fotos satelitales, datos climáticos, etc., bajo principios de "agricultura de precisión o sitio". Alcance debe ser regional
16	Desarrollar acciones y labores que favorezcan el desarrollo espacial y profundo del sistema radical en el suelo
17	Operar programas de renovación y resiembra de plantaciones agotadas y poblacionalmente limitadas
18	Emplear en la siembra y renovación de plantaciones semilla mejorada de alta calidad y pureza genética
19	Desarrollar en la medida de las posibilidades semilleros básicos técnicamente bien orientados
20	Desarrollar programas de reproducción vegetativa de material de siembra mediante técnica de "yemas pregerminadas"
21	Promocionar y acondicionar al entorno agroproductivo particular el empleo de nuevos sistemas de siembra (transversal o en escalera)
22	Incorporar prácticas que favorezcan la prolongación de la longevidad en el uso comercial de las variedades y plantaciones de caña
23	Asegurar el manejo óptimo del recurso hídrico: <i>sistemas de riego y drenaje apropiados</i>
24	Planificar y organizar la sistemática de tiempos y labores vinculadas con el manejo de retoños (ciclo soca)
25	Favorecer el uso de coberturas vegetales a nivel de finca en áreas apropiadas de la unidad productiva
26	Recomendar cuando sea permisible la rotación caña-arroz-caña con el objeto de mejorar la condición del suelo, la productividad y la economía de la empresa
27	Aumentar la cobertura vegetal de la finca mediante el cultivo de especies arbóreas y arbustivas adecuadas y adaptadas al lugar
28	Formular protocolos específicos atinentes al empleo de Buenas Prácticas Agrícolas para implementar según temática, región y condición agrícola
29	Utilizar variedades de caña apropiadas, validadas y adaptadas a los entornos y condiciones agroproductivas particulares
C SUELOS	
30	Atender el suelo de manera integral visualizando la degradación sistemática que padece por problemas asociados: <i>acidificación, compactación, erosión, infertilidad, contaminación, etc.</i>
31	Desarrollar prácticas de conservación de suelos que permitan su recarbonización y minimicen las pérdidas de recursos valiosos: <i>edáfico, hídrico, biodiversidad</i>
32	Aumentar los sumideros de carbono por medio de la intensificación de la rotación, la asociación intercalada de cultivos y la incorporación al sistema de producción de cultivos de cobertura apropiados
33	En suelos con algún grado de compactación se torna necesario realizar mediciones específicas antes de ejecutar la labor de preparación (ej. penetrómetro), lo que evita el gasto innecesario de energía en maquinaria, favoreciendo el ahorro en combustible y tiempo, reduciendo además la emisión de GEI. Es válido realizar un levantamiento de información sobre compactación, particularmente en condiciones de alta mecanización
34	Diseñar y operar un programa formal y permanente de capacitación en agricultura de precisión, abordando tópicos vinculados con aplicaciones / dispositivos móviles, sensores remotos, SIG, interpretación de imágenes satelitales de alta resolución
35	Establecer estratégicamente estaciones de medición de contenidos de Carbono Orgánico en el Suelo (COS) en todas las regiones productoras del país y medir grado de recarbonización
36	Promocionar el uso y la incorporación de biocarbón (<i>biochar</i>) al suelo lo que implica disponer acceso al insumo en cantidad, calidad y precio
37	Optimizar la preparación de los terrenos de cultivo adecuando las prácticas implicadas: <i>arada, rastrea, subsolada, nivelación</i> . Evitar excesos incorporando criterios selectivos de acuerdo con el relieve, el grado de pendiente, la profundidad, textura y material parental existente
38	Fomentar y adecuar la mínima y/o cero labranza a las condiciones de cultivo donde sean aptas y recomendables

Fuente: Propuesta formulada por el autor.

Cuadro 16. Acciones (68) a desarrollar según área de gestión para reducir y mitigar la emisión de Gases de Efecto invernadero (GEI) en Costa Rica.	
Nº	Actividad - Labor - Práctica
D ENMIENDAS	
39	Fertilizar y aplicar enmiendas estrictamente con base en análisis fisicoquímicos y microbiológicos de suelos y tejidos. Disponer información requerida
40	Encalar los suelos con base en la capacidad efectiva de neutralización de la acidez intercambiable, la necesidad de encalado (NC) y la calidad (PRNT) de las fuentes comerciales disponibles en el mercado
41	Promocionar y optimizar el uso de enmiendas incorporadas al suelo, particularmente correctores de acidez. Asegurar fuente (carbonato, dolomita, etc.), dosis (kg/ha), momento (planta, soca), forma (manual, mecanizada)
42	Interpretar y adecuar correctamente la periodicidad más conveniente de aplicación y corrección del suelo según ciclo vegetativo (siembra, anual, bianual)
E NUTRICIÓN - FERTILIZACIÓN	
43	Diseñar y formular con criterio técnico programas nutricionales muy específicos con adaptación en el ámbito regional, local, de finca y lote
44	Las dosis recomendadas e incorporadas deben ser afines y consecuentes con el nivel y el potencial real de productividad agroindustrial de la localidad y la condición particular de manejo. Debe evitarse mucho N para poca producción, lo que aplica para todos los nutrimentos
45	Ubicar las dosis óptimas de respuesta nutricional de las variedades de acuerdo con región, orden de suelo, elemento y ciclo vegetativo
46	Incentivar la formulación e incrementar el uso de abonos orgánicos a nivel de finca
47	Promover el uso y la producción de abonos verdes apropiados. Asegurar la disponibilidad de material reproductivo de calidad de especies adaptadas
48	Fomentar, auspiciar y promocionar el compostaje de materias orgánicas a nivel de finca, favoreciendo las condiciones y capacitación requeridas
49	Incrementar el uso de agentes biológicos, biofertilizantes, inoculación con bacterias y mejoramiento de la biomasa microbiana del suelo
50	Identificar y cuantificar fuentes potenciales de residuos y abono orgánico disponible y accesible en la región y localidad productora
51	Identificar y validar plantas (especies vegetales) con potencial de uso como abonos verdes, en especial leguminosas, adaptables a cada localidad productora. Disponer semilla para ese fin
52	Operar la fertilización bajo un concepto integral de nutrición y no apenas de aplicación individual de elementos, lo que implica ampliar la cantidad y diversidad de "elementos esenciales". Superar criterio inconveniente del N-P-K
53	Optimizar la selección, el uso y el manejo integral de los fertilizantes nitrogenados: <i>urva, amoniacales, nitratos</i>
54	Asegurar que la fuente y/o fórmula seleccionada, la dosis (kg/ha), la forma (superficial, incorporada, fraccionada) y el momento de fertilizar sean los técnicamente idóneos
55	Emplear preferentemente dentro de las posibilidades técnico-económicas fertilizantes de liberación controlada, lenta y estabilizados
56	Incorporar la fertilización siguiendo criterio de aplicación de Tasa Variable en sustitución de la tradicional y poco eficiente Tasa Fija
57	Calibrar los aplicadores manuales y los equipos (abonadora mecánica) cuando son utilizados para lograr un uso eficiente y óptimo del fertilizante
58	Adaptar las fórmulas fertilizantes comerciales recomendadas a las condiciones particulares y específicas del entorno agroproductivo donde serán empleadas, lo cual implica interceder ante las empresas proveedoras y formuladoras
F RESIDUOS	
59	Operar un manejo óptimo de la biomasa y los residuos agroindustriales generados a nivel de unidad productiva: <i>recuperación, tratamiento, almacenamiento, distribución, etc.</i>
60	Optimizar el manejo y tratamiento de los Residuos Agrícolas de Cosecha (RAC) asegurando su conveniente y oportuna incorporación al suelo: <i>remanga, trituración, tratamiento.</i>
G COMBUSTIBLES FÓSILES	
61	Diagnósticar e inventariar a nivel regional y nacional la cantidad y las características (modelo, potencia, estado, etc.) de los equipos empleados en el manejo de las plantaciones comerciales de caña de azúcar en sus diferentes fases de actividad
62	Ubicar y diagnósticar para la condición y contexto particular de cada unidad productiva el tipo, la capacidad y características del equipo mecánico empleado en las labores de preparación por implementar (evitar sobre dimensionamiento).
63	Trabajar en el diseño y rediseño de lotes sembrados o previstos cultivar con caña para hacer mas eficiente el uso de maquinaria agrícola
64	Desarrollar estrategias y acciones que optimicen el uso de vehículos, maquinaria y equipos mecánicos: <i>mantenimiento preventivo, organización, cambio de unidades</i>
65	Controlar y reducir en lo posible el consumo de combustibles fósiles mediante una gestión planificada, organizada (optimizada) y administrada de labores
66	Incrementar la eficiencia en el transporte de la caña aumentando capacidad (t) de unidades, adecuando rutas, reduciendo recorridos (km), mejorando caminos. Debe organizarse y adecuarse la implementación de un sistema nacional bien conceptualizado y organizado regionalmente
67	Asegurar que la materia prima cortada y transportada vaya limpia (sin basura) y bien acomodada en las unidades de transporte mejorando la eficiencia
68	Capacitar e informar a productores y operarios de maquinaria, equipos mecánicos y administradores de finca sobre equipos adóneos, mantenimiento preventivo, labores de preparación de suelos y manejo de plantaciones

Fuente: Propuesta formulada por el autor.

Conclusión

El factor climático ha sido por tradición y necesidad uno de los elementos de la ecuación de la productividad a los que ordinariamente se le presta mayor atención en la producción agropecuaria, lo cual resulta entendible considerando que su participación es indiscutiblemente vital y determinante en el éxito de cualquier proyecto o emprendimiento agroempresarial, sin detrimento de los otros factores incidentes. A esta visión se le agrega el hecho conocido y comprobado del poco control y capacidad de previsión que se tiene sobre los efectos, consecuencias e impactos que se dan en el campo por causas ambientales y climáticas, los cuales muchas veces califican como verdaderos desastres.

Acontece, sin embargo, que esa visión simple, reduccionista y tradicional ha venido sistemáticamente siendo superada y ampliada hacia la agregación de otros elementos que recientemente se le han venido incorporando al tema, en procura de contrarrestar de alguna manera el galopante y poco deseable cambio climático cuyas consecuencias resultan negativas para naciones, regiones, sectores y familias. El cambio climático ha venido sin lugar a duda, a revolucionar la forma de producir, comercializar y subsistir a nivel global, motivo por el cual los gobiernos buscan formas viables y factibles de poder contrarrestar y mitigar en algún grado sus impactos, lo que no resulta fácil y menos aún barato. El calentamiento global, el efecto invernadero y el cambio climático son favorecidos por las actividades

humanas (antropogénicas), motivo por el cual es ahí donde están situadas las posibles soluciones que conduzcan a contrarrestar su incremento y atenuar sus impactos.

Como mencionara Chaves (2020n) al respecto *“Cuando de zonificación, regionalización, definición de entornos o ambientes agro-productivos de caña de azúcar se trata, no cabe la menor duda que los dos factores condicionantes más importantes que se establecen como criterios tipificantes son los de carácter climático y edáfico. El clima es por lo general el primer factor a ser considerado y analizado en todas sus variables, debido a su inminente importancia y condición de alta inestabilidad que por lo general presenta, lo que lo convierte en un infaltable en cualquier intención de planificación seria que se desee realizar. Es por esta razón que los estudios de pronósticos y proyecciones de posibles comportamientos, tendencias y cambios climáticos deben ser operados en valoraciones de mediano y largo plazo.”*

Esta circunstancia meteorológica asociada a razones comerciales torna más compleja la participación del clima como factor estrechamente ligado a la producción y la economía, independientemente del área o sector comercial involucrado; pues como es conocido, la protección del ambiente, los recursos naturales (hídrico, edáfico) y la biodiversidad, aunados a la inocuidad de los alimentos, forman parte de los selectos y deseados mercados de destino de nuestros productos. Más recientemente la adopción de medidas y estrategias que contrarresten y favorezcan la mitigación de Gases con Efecto Invernadero (GEI) cobra relevancia y significado, al condicionar la comercialización y posicionamiento de los productos y tomar parte importante de las certificaciones exigidas por los demandantes de bienes alimentarios. Bajo esta premisa, la medición de la huella de carbono, la producción de alimentos bajo sistemas “bajos en emisiones” cobra cada vez más relevancia internacional, como un mercado cautivo en franco desarrollo.

El diseño, formulación, implementación y ejecución de los denominados NAMAS, constituye una estrategia ambiental de alcance sectorial e institucional inteligente para ajustar los sistemas de producción tradicional y convencional, a esos nuevos condicionantes de mercado donde la “producción baja en emisiones” adquiere relevancia y sentido coyuntural y mediático en relación con los esfuerzos globales por procurar reducir y mitigar los GEI y con ello intervenir el cambio climático. Si bien la iniciativa NAMA es de corte ambiental también tiene vínculos y grandes repercusiones

productivas, comerciales y económicas. El esfuerzo que viene desarrollando actualmente el sector azucarero costarricense en esa orientación, mediante la implementación de una NAMA Caña de Azúcar resulta digna de reconocimiento y apoyo.

La implementación de las acciones de cambio requeridas desarrollar por esta iniciativa ambiental, demanda no solo contar con políticas públicas, sectoriales e institucionales claras y visionarias (basadas en datos representativos y confiables y dotadas de financiamiento); sino también, contar con la capacidad de gestión administrativa y tecnológica que esté a la altura del liderazgo y necesidades que el sector y el país buscan tener con la agenda propuesta por el Plan Nacional de Descarbonización 2018-2050 (Costa Rica, 2019). A pesar de que la agroindustria cañero-azucarera nacional cuenta con los mecanismos e instrumentos necesarios, está claro que el sector debe insoslayablemente modernizar, adecuar, ajustar y cambiar su estructura y sistema de producción tradicional y convencional para adecuarlo al cambio planteado. No puede ni debe dejar de considerarse que la planta de caña posee y dispone de atributos anatómicos, genéticos y eco fisiológicos muy favorables para enfrentar con capacidad el cambio climático, como lo demostrara Chaves (2020ci).

La labor que el sector tiene por delante en su fase primaria de producción agrícola implica imperativamente provocar cambios de fondo al modelo y sistema productivo vigente; lo cual obliga adaptar las actividades, labores, procedimientos y protocolos de establecimiento, manejo y cosecha de plantaciones a los cambios requeridos implementar para reducir y mitigar emisiones y elevar productividad. La presente es una interesante oportunidad para hacer transformaciones que aporten elementos que induzcan la creación de nuevos productos que favorezcan su diferenciación comercial en los mercados de destino. Es imperativo crear y desarrollar conciencia ambiental vinculada al comercio responsable que habilite los principios modernos de la bioeconomía, lo cual difiere significativamente del sentimiento ambientalista poco contributivo (Chaves y Bermúdez, 1999).

Entender los grandes y complejos retos que vienen por delante con la implementación de la NAMA Caña de Azúcar en el país, primera en el mundo, implica incorporar y usar nuevas herramientas y estrategias; entre las cuales diseñar y operar una táctica de planificación hacia la descarbonización

del sistema agroproductivo resulta trascendental. Dada la profundidad y complejidad del reto climático y productivo por desarrollar, los objetivos y metas propuestas no se alcanzarán con simples enfoques tradicionales basados en la adopción de mejoras mínimas y de bajo impacto para la dimensión y magnitud de los fines pretendidos. Los enfoques basados en modelos de optimización en el uso de los recursos resultan apropiados para el caso agrícola y cañero, pues conducen a incrementar la eficiencia, reducir los costos, minimizar las pérdidas y maximizar el beneficio productivo y financiero.

Se reconoce con sensatez y moderación que lograr descarbonizar el sector de producción primaria de caña tomará algún tiempo importante, en el cual se deberán ejecutar discrecionalmente acciones puntuales, alineadas a una visión de cambio coherente, congruente y sostenible con las metas trazadas por la NAMA. Para iniciar dicho proceso, la presente propuesta y contribución temática resulta estratégica para identificar y valorar las acciones de descarbonización viables de operar en el campo, traducidas en actividades claves del sistema actual de producción de caña de azúcar.

Literatura citada

- 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.
- 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.
- 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.
- Costa Rica. 2019. **Plan Nacional de Descarbonización. Gobierno de la República 2018-2050.** San José, Costa Rica. Gobierno del Bicentenario 2018-2022. 103 p.
- 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.
- Chaves, M. 1999a. **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.
- Chaves, M. 1999b. **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.
- Chaves Solera, M. 1999c. **El Nitrógeno, Fósforo y Potasio en la caña de azúcar.** San José, Costa Rica. LAICA-DIECA, setiembre. 130 p.
- Chaves, M.; Bermúdez, A. 1999. **Por una mayor conciencia ambiental en el sector azucarero.** 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: 274-278.
- Chaves Solera, M. 2010. **Dinámica del Nitrógeno en el suelo y la planta de caña de azúcar.** San José, Costa Rica. LAICA-DIECA, noviembre. Presentación Electrónica en Power Point. 57 láminas.
- Chaves Solera, M. 2012. **Relaciones catiónicas y su importancia para la agricultura.** Revista Especializada Ventana Lechera, Dos Pinos. Fertilización: Práctica para mejorar la calidad y producción de forraje. San José, Costa Rica. Edición N° 18, Año 6, febrero 2012. p: 10-20.
- Chaves Solera, M.A. 2015. **Errores y omisiones técnico-administrativas que sacrifican productividad y cuestan dinero en la agroindustria azucarera.** San José, Costa Rica. LAICA-DIECA, febrero. 16 p.
- Chaves Solera, M.A. 2016a. **Estudio de 9 fuentes de Nitrógeno realizados en 6 regiones productoras de caña de azúcar de Costa Rica: compendio de resultados.** Liberia, Guanacaste, Costa Rica. Abril. Presentación Electrónica en Power Point. 107 láminas.

- Chaves Solera, M.A. 2016b. **Resultados de investigación con el uso del Nitrógeno en la caña de azúcar en Costa Rica.** En: Congreso de la Asociación de Técnicos Azucareros de Latinoamérica y El Caribe (ATALAC), 10, y Congreso de la Asociación de Técnicos Azucareros de México (ATAM), 38. Memoria Digital y Resúmenes. Setiembre 2016, Veracruz, México. 26 p.
- Chaves Solera, M.A. 2016c. **El Nitrógeno como factor de productividad agroindustrial de la caña de azúcar en Costa Rica.** En: Congreso Nacional Agropecuario, Forestal y Ambiental, 14, Centro de Conferencias del Hotel Wyndham Herradura, Heredia, Costa Rica, 2016. Memoria Digital. San José, Costa Rica, Colegio de Ingenieros Agrónomos de Costa Rica, octubre 27 al 29. 9 p.
- Chaves Solera, M.A. 2017. **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.
- 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.
- 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.
- Chaves Solera, M.A. 2019a. **Lluvia: imperativo para corregir la acidez de los suelos para cultivar caña de azúcar.** Boletín Agroclimático (Costa Rica) 2(2): 4-5, mayo.
- Chaves Solera, M.A. 2019b. **Momento ideal para fertilizar y nutrir la caña de azúcar.** Boletín Agroclimático (Costa Rica) 3(1): 4-5, mayo-junio.
- Chaves Solera, M.A. 2019c. **Clima y ciclo vegetativo de la caña de azúcar.** Boletín Agroclimático 1(7): 5-6, julio.
- Chaves Solera, M.A. 2019d. **Relación agua-suelo en la caña de azúcar.** Boletín Agroclimático (Costa Rica) 1(10): 5-7, agosto-setiembre.
- Chaves Solera, M.A. 2019e. **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.
- Chaves Solera, M.A. 2019f. **Clima, maduración y concentración de sacarosa en la caña de azúcar.** Boletín Agroclimático (Costa Rica) 1(15): 5-8, octubre-noviembre.
- Chaves Solera, M.A. 2019g. **Ambiente agro climático y producción de caña de azúcar en Costa Rica.** Boletín Agroclimático (Costa Rica) 1(18): 5-10, noviembre-diciembre.
- Chaves Solera, M.A. 2020a. **Estrés hídrico en la caña de azúcar en Costa Rica.** Boletín Agroclimático (Costa Rica) 2(8): 5-16, abril.
- Chaves Solera, M.A. 2020b. **Estrés por viento en la caña de azúcar en Costa Rica.** Boletín Agroclimático (Costa Rica) 2(9): 4-15, abril.
- Chaves Solera, M.A. 2020c. **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.
- Chaves Solera, M.A. 2020d. **Participación del clima en la degradación y mineralización de la materia orgánica:**

- aplicación a la caña de azúcar.** Boletín Agroclimático (Costa Rica) 2(12): 6-17, junio.
- Chaves Solera, M.A. 2020e. **Clima, degradación del suelo y productividad agroindustrial de la caña de azúcar en Costa Rica.** Boletín Agroclimático (Costa Rica) 2(15): 5-13, julio.
- Chaves Solera, M.A. 2020f. **Clima, germinación, ahijamiento y retoñamiento de la caña de azúcar.** Boletín Agroclimático (Costa Rica) 2(14): 6-14, julio.
- Chaves Solera, M.A. 2020g. **Clima y erosión de suelos en caña de azúcar en Costa Rica.** Boletín Agroclimático (Costa Rica) 2(16): 7-16, agosto.
- Chaves Solera, M.A. 2020h. **Clima, acidez del suelo y productividad agroindustrial de la caña de azúcar en Costa Rica.** Boletín Agroclimático (Costa Rica) 2(18): 8-17, agosto.
- Chaves Solera, M.A. 2020i. **Sistema radicular de la caña de azúcar y ambiente propicio para su desarrollo en el suelo.** Boletín Agroclimático (Costa Rica) 2(13): 6-18, junio. *También en:* Revista Entre Cañeros N° 17. Revista del Departamento de Investigación y Extensión de la Caña de Azúcar (DIECA). San José, Costa Rica, setiembre. p: 51-71.
- Chaves Solera, M.A. 2020j. **El azúcar se hace en el campo y extrae en la fábrica: una verdad incuestionable.** Boletín Agroclimático (Costa Rica) 2(19): 6-13, setiembre.
- Chaves Solera, M.A. 2020k. **Materia orgánica y disponibilidad de nitrógeno para la caña de azúcar.** Boletín Agroclimático (Costa Rica) 2(21): 6-16, octubre.
- Chaves Solera, M.A. 2020l. **Abono verde, consociación y rotación de cultivos en caña de azúcar.** Boletín Agroclimático (Costa Rica) 2(22): 5-19, octubre.
- Chaves Solera, M.A. 2020m. **Agroclimatología y producción competitiva de caña de azúcar en Costa Rica.** Boletín Agroclimático (Costa Rica) 2(24): 5-13, noviembre.
- Chaves Solera, M.A. 2020n. **Ambientes climáticos y producción competitiva de la caña de azúcar en Costa Rica.** Boletín Agroclimático (Costa Rica) 2(26): 5-12, diciembre-enero.
- 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.
- Chaves Solera, M.A. 2021a. **Cuidados y prevenciones con la quema de plantaciones de caña de azúcar.** Boletín Agroclimático (Costa Rica) 3(3): 5-14, febrero.
- 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.
- 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.
- Chaves Solera, M.A. 2021d. **Estrés mineral y caña de azúcar en Costa Rica.** Boletín Agroclimático (Costa Rica) 3(11): 5-21, mayo.
- Chaves Solera, M.A. 2021e. **Factores que intervienen y modifican la eficiencia y efectividad de la fertilización y los fertilizantes nitrogenados en la caña de azúcar.** Boletín Agroclimático (Costa Rica) 3(13): 5-20, junio.
- 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.
- Chaves Solera, M.A. 2021g. **Fijación biológica de nitrógeno atmosférico (N₂) por la caña de azúcar: un importante potencial por aprovechar.** Boletín Agroclimático (Costa Rica) 3(15): 7-24, julio.
- Chaves Solera, M.A. 2021h. **¿Cuánto Nitrógeno se aplica en las plantaciones comerciales de caña de azúcar en Costa Rica?** Boletín Agroclimático (Costa Rica) 3(17): 5-26, agosto.
- Chaves Solera, M.A. 2021i. **Óxido nitroso (N₂O) y uso del nitrógeno en la caña de azúcar.** Boletín Agroclimático (Costa Rica) 3(19): 5-29, setiembre.
- Chaves Solera, M.A. 2021j. **Nitrificación y pérdidas potenciales de nitrógeno en suelos cañeros.** Boletín Agroclimático (Costa Rica) 3(20): 6-24, setiembre.
- Chaves Solera, M.A. 2021k. **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.
- Chaves Solera, M.A. 2021l. **Amonificación y volatilización de nitrógeno en suelos cañeros.** Boletín Agroclimático (Costa Rica) 3(21): 6-22, octubre.
- Chaves Solera, M.A. 2021m. **Sugerencias y recomendaciones para el uso óptimo de fertilizantes en la caña de azúcar.** Boletín Agroclimático (Costa Rica) 3(26): 8- 23, diciembre.
- Chaves Solera, M.A. 2021n. **Diseño y alcances de la Nota Conceptual- Caña de Azúcar: Propuesta sectorial para un NAMA.** San José, Costa Rica. En: Seminarios de inducción y capacitación para el diseño y la formulación de la NAMA-Caña de azúcar. Organizados por la Liga Agrícola Industrial de la Caña de Azúcar (LAICA), 26 noviembre. Presentación Electrónica en Power Point. 75 láminas.
- Chaves Solera, M.A. 2021o. **Condiciones del sector cañero-azucarero costarricense para implementar una NAMA: caracterización sectorial.** San José, Costa Rica. En: Seminarios de inducción y capacitación para el diseño y la formulación de la NAMA-Caña de azúcar. Organizados por la Liga Agrícola Industrial de la Caña de Azúcar (LAICA), 26 noviembre. Presentación Electrónica en Power Point. 97 láminas.
- Chaves Solera, M.A. 2021p. **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, diciembre. p: 9-67.
- Chaves Solera, M.A. 2021q. **Fertilizantes de liberación controlada, lenta y estabilizados para uso en la caña de azúcar.** Boletín Agroclimático (Costa Rica) 3(25): 6-23, noviembre-diciembre.
- 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. p: 5-35, julio.
- 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. En Prensa.
- Chaves Solera, M.A. 2022. **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.
- Montenegro Ballester, J.; Chaves Solera, M. 2009. **Emisión de gases por la caña de azúcar: propuesta metodológica para realizar un balance de carbono.** En: Congreso Azucarero ATACORI "Cooperativa Agrícola Industrial El General R.L.", 17, Colegio de Ingenieros Agrónomos, San José, Costa Rica, 2009. Memoria. San José, Asociación de Técnicos Azucareros de Costa Rica (ATACORI), 2 y 3 de setiembre del 2009. 18 p.
- Montenegro Ballester, J.; Chaves Solera, M. 2011. **Contribución del sector cañero a la mitigación del cambio climático.** En: Congreso Azucarero Nacional ATACORI "M.Sc. Teresita Rodríguez Salas (+)", 18, Colegio de Ingenieros Agrónomos, San José, Costa Rica, 2011. Memoria. San José, Asociación de Técnicos Azucareros de Costa Rica (ATACORI), 8 y 9 de setiembre del 2011. 14 p. Conferencia Electrónica en Power Point. 54 láminas.
- 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.
- 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.
- Vallejo, M.; Chávez, M.; Solano, Z.; Chacón, M.; Montenegro, J. 2021. **Lineamientos para el Diseño de NAMA Caña de Azúcar (Nota Conceptual).** San José, Costa Rica. MAG/LAICA/FEDECANA/AFD. 64 p.

DIECA Y EL IMN LE RECOMIENDAN

Mantenerse informado con los avisos emitidos por el IMN en:

 @IMNCR

 Instituto Meteorológico Nacional CR

 www.imn.ac.cr

Recuerde que puede acceder los boletines en
www.imn.ac.cr/boletin-agroclima y en
www.laica.co.cr

CRÉDITOS BOLETÍN AGROCLIMÁTICO

Producción y edición del Departamento de Desarrollo

Meteoróloga Karina Hernández Espinoza

Ingeniera Agrónoma Katia Carvajal Tobar

Geógrafa Nury Sanabria Valverde

Geógrafa Marilyn Calvo Méndez

Modelos de tendencia del Departamento de
Meteorología Sinóptica y Aeronáutica

INSTITUTO METEOROLÓGICO NACIONAL