



MINISTERIO DE AGRICULTURA
Y DESARROLLO RURAL

Crecimiento verde y agricultura
climáticamente inteligente en el cultivo de

caña de azúcar

(*Saccharum officinarum* L.)

para la elaboración de panela



AGROSAVIA
EDITORIAL

**Crecimiento verde y agricultura
climáticamente inteligente en el cultivo de**

caña de azúcar
(*Saccharum officinarum* L.)

para la elaboración de panela

Autores

MARTHA MARINA BOLAÑOS BENAVIDES

Investigadora Ph. D. Senior

Jefe del Departamento de Producción Intensiva Sostenible, Sede Central

LEIDY YIBETH DEANTONIO-FLORIDO

Investigadora Máster

Centro de Investigación Tibaitatá, Sede Cimpa

LUIS GABRIEL BAUTISTA-MONTEALEGRE

Investigador Máster

Departamento de Producción Intensiva Sostenible, Sede Central



Bolaños Benavides, Martha Marina

Crecimiento verde y agricultura climáticamente inteligente en el cultivo de caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.) para la elaboración de panela. / Martha Marina Bolaños Benavides; Leidy Yibeth Deantonio Florido y Luis Gabriel Bautista Montealegre. -- Mosquera, (Colombia) : AGROSAVIA, 2023.

128 páginas (Colección Crecimiento Verde)

Incluye ilustraciones, gráficos y referencias bibliográficas

ISBN e-Book: 978-958-740-630-6

1. *Saccharum officinarum* 2. Conservación de los recursos 3. Agricultura de bajo insumo 4. Economía circular 5. Adaptación al cambio climático 6. Desarrollo sostenible. I. Deantonio Florido, Leidy Yibeth II. Bautista Montealegre, Luis Gabriel.

Palabras clave normalizadas según Tesauro Multilingüe de Agricultura - Agrovoc

Catalogación en la publicación – Biblioteca Agropecuaria de Colombia

La Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA). Centro de Investigación Tibaitatá, kilómetro 14 vía Mosquera-Bogotá, Mosquera. Código postal 250047, Colombia.

Citación sugerida: Bolaños-Benavides, M. M., Deantonio-Florido, L. Y., & Bautista-Montealegre, L. G. (2023). *Crecimiento verde y agricultura climáticamente inteligente en el cultivo de caña de azúcar (Saccharum officinarum L.) para la elaboración de panela*. La Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA). <https://doi.org/10.21930/agrosavia.manual.7406306>

La información que se presenta en esta publicación se obtuvo de la parcela de integración del cultivo de caña de azúcar para panela del proyecto “Reducción del Riesgo y Adaptación al Cambio Climático - Modelos de Adaptación y Prevención Agroclimática (MAPA)”, financiado por el Fondo Adaptación y ejecutado por AGROSAVIA; de los principales resultados de investigación y de las Ofertas Tecnológicas (OT), generadas por AGROSAVIA y sus aliados que fueron financiados con recursos públicos del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR) de Colombia.

Cláusula de responsabilidad: AGROSAVIA no es responsable de las opiniones e información recogidas en el presente texto. Los autores asumen de manera exclusiva y plena toda responsabilidad sobre su contenido, ya sea este propio o de terceros, y declaran, en este último supuesto, que cuentan con la debida autorización de terceros para su publicación; igualmente, declaran que no existe conflicto de interés alguno en relación con los resultados de la investigación propiedad de tales terceros. En consecuencia, los autores serán responsables civil, administrativa o penalmente, frente a cualquier reclamo o demanda por parte de terceros relativa a los derechos de autor u otros derechos que se hubieran vulnerado como resultado de su contribución.

Dirección editorial

Astrid Verónica Bermúdez Díaz

Edición de contenidos

Valentina Ramírez-Valencia

Adecuación de textos

Felipe Solano Fitzgerald

Realización gráfica e ilustración

María Cristina Rueda Traslaviña y Wilson Martínez Montoya

Fotografías

Banco de fotos AGROSAVIA, Luis Gabriel Bautista-Montealegre, Leidy Yibeth Deantonio-Florido y Ximena López González.



https://co.creativecommons.org/?page_id=13

Reseña académica de los autores

Martha Marina Bolaños-Benavides. Bióloga. MSc. Ph.D. Manejo-Conservación de Suelos. Investigaciones: colecta, propagación y evaluación de micorrizas arbusculares en café (Cenicafé) y en plátano, aguacate, guayaba, baby banana, maracuyá y ají. Evaluación de fertilización integrada (química, biofertilización y orgánica), sus efectos en suelos y rendimiento de cultivos. Becaria Colciencias y docente universitaria. Líder de más de veinte proyectos en determinación de requerimientos y deficiencias nutricionales; manejo de rizosfera; enzimas de suelo; nutrición y sanidad vegetal; fertilización orgánica y producción agroecológica; transferencia de tecnología-vinculación, y metales pesados (cacao, hortalizas y pastos). Miembro de la Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo, de la Red MusaLAC, ITPS.



Leidy Yibeth Deantonio-Florida. Ingeniera agrónoma de la Universidad Nacional de Colombia y MSc. en Fisiología Vegetal de la Universidade Federal de Viçosa (Brasil). Investigadora Máster de la sede Cimpa adscrita al Centro de Investigación Tibaitatá de AGROSAVIA. Ha participado y liderado proyectos de investigación y transferencia de tecnología en temas relacionados con zonificación de riesgos agroclimáticos en los sistemas agrícolas de Colombia; optimización de la producción de semilla seleccionada para caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.) destinada a panela y en el fortalecimiento de sus organizaciones de productores, y en el estudio ecofisiológico de los cultivares regionales de guayaba (*Psidium guajava* L.) roja y blanca en interacción con agentes bióticos y abióticos en la hoya del río Suárez (Colombia).



Luis Gabriel Bautista-Montealegre. Ingeniero agrónomo, MSc. Fitopatología. Con experiencia en la coordinación de acciones de inspección, vigilancia y control de plagas de importancia económica y cuarentenaria. Formó parte del grupo especial para atención a *Fusarium oxysporum* f. sp. cubense raza 4 tropical (recientemente clasificado como *Fusarium odoratissimum* Maryani, Lombard, Kema & Crous, 2019) en el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA). Actualmente es Investigador Máster del Departamento de Producción Intensiva Sostenible de AGROSAVIA; ha participado en el análisis epidemiológico de las principales enfermedades de cultivos como plátano, mora, guayaba y caña de azúcar para la producción de panela. Con su trabajo contribuye a la planificación y ejecución de proyectos de investigación en epidemiología, sanidad y nutrición vegetal, variabilidad y cambio climático.

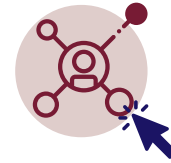


Foto: Banco de fotos AGROSAVIA.

Agradecimientos

Los autores extienden un especial agradecimiento: al Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR) por la financiación de esta obra con recursos públicos.

A las direcciones de Planeación y Cooperación Institucional y de Investigación y Desarrollo de AGROSAVIA, y al Departamento de Producción Intensiva Sostenible por priorizar este sistema productivo con miras a implementar la Política de Crecimiento Verde.

Al equipo de investigadores del sistema productivo de caña de azúcar para la obtención de panela y proyectos transversales de AGROSAVIA, así como a sus equipos de trabajo, quienes han generado, publicado y transferido conocimiento, resultados de investigación y Ofertas Tecnológicas que han sido fundamentales para comprender los avances y aportes de las distintas áreas temáticas a la política de Crecimiento Verde.

Al Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia (Cenicaña), que durante cerca de treinta años ha facilitado la investigación, el desarrollo y la vinculación de las variedades Cenicaña Colombia y otras tecnologías del sector azucarero al panelero bajo el Convenio de Cooperación Técnico Científico con AGROSAVIA.





Contenido

Introducción	11
Descripción general del sistema productivo	19
Base para desarrollar las actividades productivas	
Proteja el capital natural	26
Conserve los suelos	29
Siembre especies nativas y establezca barreras multiestrato.....	30
Cubra el suelo con materia orgánica.....	34
Diseñe y ejecute un manejo integrado de la fertilización....	36
Reúse la biomasa residual para fabricar abonos orgánicos	40
Adecúe el lugar.....	41
Monte la pila.....	42
Monitoree y controle la temperatura	43
Finalice la elaboración del abono orgánico	43
¿Cómo contribuyen estas recomendaciones a proteger el capital natural en el cultivo de caña para panela?.....	44

Lograr más con menos: productividad y competitividad en el mercado Maximice la eficiencia en el uso de recursos	47
Renueve los cultivares	51
Produzca y seleccione el material de siembra	53
Siembre semillas seleccionadas	54
Establezca semilleros en el terreno	57
Elija el tipo de semillero	58
Defina la densidad de siembra de acuerdo con la pendiente del terreno	58
Elija los sustratos para yemas o esquejes embolsados	60
Haga seguimiento y manejo agronómico	62
Resiembre y entresiembre	65
Corte la caña de azúcar por parejo o entresaque	66
Corte por parejo	66
Corte por entresaque	67
Transporte la caña por cable autopulsado	69
Produzca y maneje mucílago vegetal	71
Use biomasa residual en el proceso panelero y diversifique la producción	74
Destine el bagazo de la caña para la combustión de hornillas ecoeficientes tipo Cimpa	75
Convierta el cogollo, la cachaza y el melote en alimentos para sus animales	77
¿Cómo contribuyen estas recomendaciones a maximizar la eficiencia en el uso de recursos en el cultivo de caña para panela?	79

**Estrategias que favorecen la resiliencia y la productividad
Mejore la adaptación a la variabilidad y el cambio climático . . .86**

Potencie la adaptación fisiológica de cultivares comerciales de caña de azúcar para la producción de panela . . .	92
Haga un Manejo Integrado de Plagas	95
¿Qué es una plaga?	95
¿Qué estrategias sostenibles puede incluir en el MIP?	96
Potencie los beneficios de la resistencia varietal	96
Haga control biológico de plagas	97
Libere insectos parasitoides (benéficos)	98
Aplique hongos y bacterias entomopatógenos	99
¿Cómo contribuyen estas recomendaciones a mejorar la adaptación del sistema productivo a la variabilidad y el cambio climático?	99
Consideraciones finales	105
Referencias	109





Introducción





La economía colombiana se proyecta como una de las de mayor crecimiento en la región (estimación de 5,8 % a 6,3 %), dado que el Fondo Monetario Internacional (FMI) se mostró optimista para las proyecciones de 2022 (*Forbes*, 2022), lo cual tendría efectos sobre la disminución de la pobreza, la desigualdad y el desempleo. Sin embargo, la economía agropecuaria tiene grandes problemas relacionados con su diversificación, productividad y sostenibilidad, así como con la baja generación de bioproductos, las deficientes capacidades en ciencia y tecnología, y la poca implementación de prácticas o estrategias para comprender y manejar los efectos del cambio climático.

Este panorama ha expuesto la necesidad de formular diversas políticas y leyes que propicien espacios para promover el desarrollo productivo, la mitigación y la **adaptación al cambio climático**. Con este propósito, en el año 2018 se planteó la Política de Crecimiento Verde, que tiene el objetivo general de impulsar la competitividad y la productividad económica del país mediante la igualdad social, la gestión sostenible de los recursos naturales, el manejo adecuado de la biotecnología y los recursos sólidos, y la mitigación y adaptación al cambio climático (Departamento Nacional de Planeación [DNP], 2018), con lo cual se busca además reducir la emisión de los gases de efecto invernadero (GEI) que producen las **actividades antrópicas**.



Glosario

Adaptación al cambio

climático: Acciones para desarrollar sistemas productivos y tecnologías agropecuarias más resilientes a los cambios en las variables climáticas relevantes, como la temperatura y la precipitación (CEPA, 2011).

Actividades antrópicas:

Actividades humanas en la producción, distribución, transporte y consumo de bienes y servicios y en la construcción y uso de infraestructura y edificios (CAR, 2022).



La Política de Crecimiento Verde surge entonces como una alternativa viable para equilibrar el buen uso de los recursos naturales (como suelos y agua) con el desarrollo económico de nuestro país, y enfatiza el crecimiento sostenible del sector agrícola basado en la oferta de capital natural, y en promover sistemas productivos sostenibles, competitivos y con menos impactos ambientales (Conpes 3934). De esta manera, la política está orientada a la conservación de los recursos naturales y el aumento de la productividad agropecuaria, razón por la cual permite su incorporación a sistemas productivos clave en la seguridad alimentaria de los colombianos. En particular, el sector agrícola se alinea con tres principios del Crecimiento Verde (figura 1).

Foto: Banco de fotos AGROSAVIA.



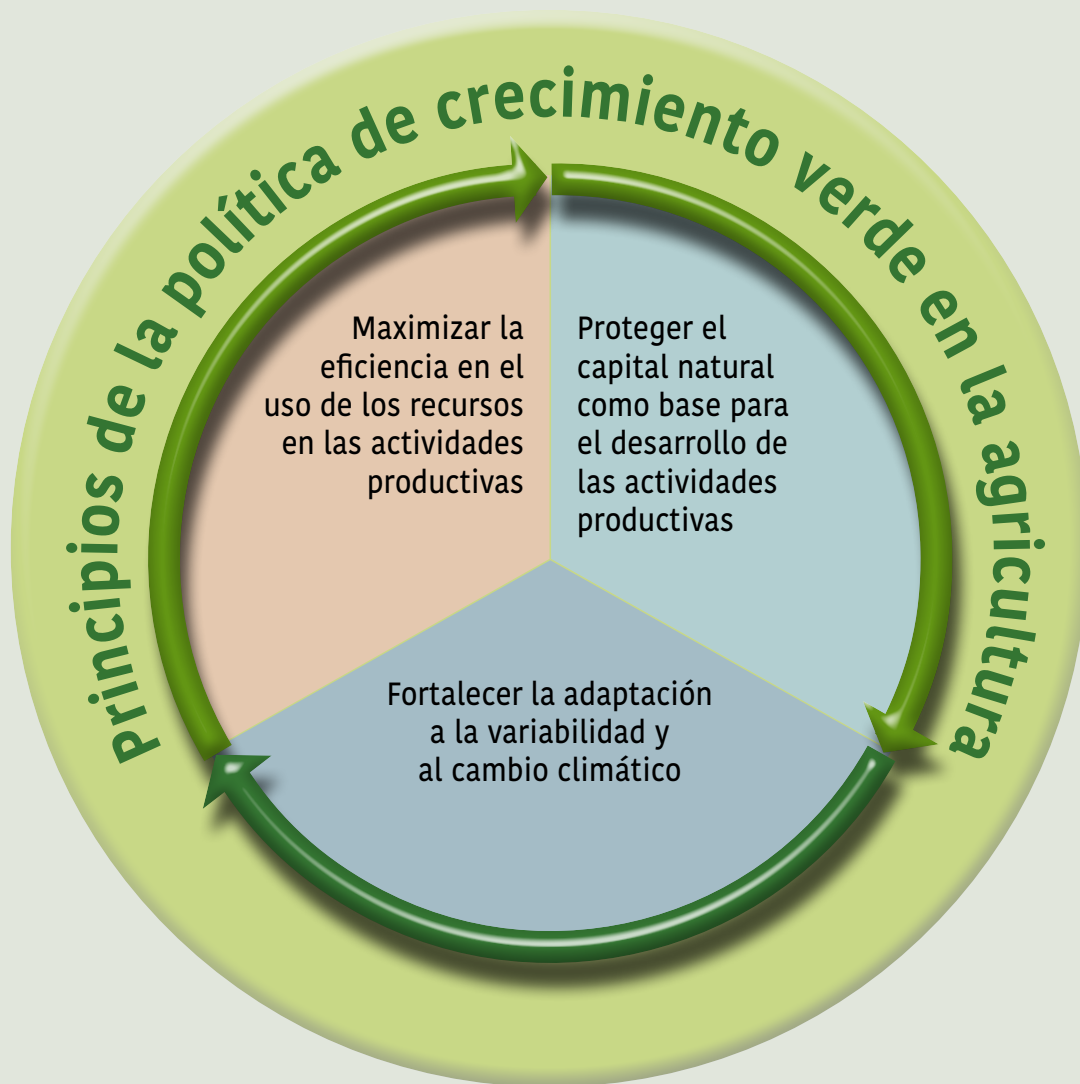


Figura 1. Principios de la Política de Crecimiento Verde relacionados con la agricultura.

Fuente: Elaboración propia



Específicamente, la Política de Crecimiento Verde tiene cinco objetivos y ejes temáticos proyectados a 2030 para que el país transite hacia prácticas más integrales y amigables con el ambiente y la sociedad (tabla 1).

Tabla 1. Objetivos y ejes temáticos de la Política de Crecimiento Verde a 2030

No.	Objetivos	Ejes temáticos
1	Generar nuevas oportunidades económicas basadas en la riqueza del capital natural.	Nuevas oportunidades económicas a partir del uso sostenible del capital natural. 
2	Fortalecer los mecanismos y los instrumentos para optimizar el uso de los recursos naturales y la energía en la producción y en el consumo.	Uso eficiente del capital natural y la energía en los sectores productivos. 
3	Desarrollar lineamientos para construir capital humano para el crecimiento verde.	Capital empresarial y humano para el crecimiento verde. 
4	Fortalecer las capacidades de Ciencia, Tecnología e Innovación (CTI) para el crecimiento verde.	Capacidades en ciencia, tecnología e innovación para el crecimiento verde. 
5	Mejorar la coordinación interinstitucional, la gestión de la información y el financiamiento para la implementación de la Política de Crecimiento Verde a largo plazo.	Marco de gobernanza del crecimiento verde. 

Fuente: Adaptado del Conpes 3934



Además, la Política de **Crecimiento Verde** ha definido que es necesario realizar las siguientes acciones:

- **Producir** bienes y servicios basados en el uso sostenible del capital natural.
- **Mejorar** el uso de los recursos naturales haciéndolos más eficientes y productivos, así como reduciendo o minimizando los impactos negativos al ambiente y a la sociedad.
- **Fortalecer** al capital humano para afrontar los nuevos retos de esta política.
- **Generar** ciencia, tecnología e innovación como herramientas para avanzar hacia cambios productivos, con nuevos procesos, insumos y tecnologías que generen valor agregado.
- **Asegurar** una coordinación y articulación interinstitucional, mediante el fortalecimiento de las capacidades, la generación de información para la toma de decisiones y mecanismos para la financiación de proyectos sostenibles.

En este escenario, la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria-AGROSAVIA realiza acciones de investigación y vinculación de tecnologías, dinamiza y contribuye al fortalecimiento de las relaciones interinstitucionales para mejorar las capacidades nacionales y regionales, así como el desarrollo de estrategias de gestión de la información que contribuyen a cumplir los objetivos dos y cinco de la Política de Crecimiento Verde con sus respectivos ejes temáticos.



Glosario

Crecimiento verde:

Enfoque que busca el desarrollo sostenible para garantizar el bienestar económico y social de la población en el largo plazo asegurando que la base de los recursos mantenga la capacidad de proveer los bienes y servicios ambientales que soportan la base económica del país y puedan continuar siendo fuente de crecimiento y bienestar hacia el futuro (DNP & GGGI, 2016).



Precisamente, **con este manual AGROSAVIA pone a disposición de los productores, extensionistas y tomadores de decisiones un conjunto de prácticas y tecnologías sostenibles amigables con el ambiente que impulsan la Política de Crecimiento Verde.** Como se verá a continuación, su implementación no solo podría mejorar el desempeño y la gestión del sector panelero, sino además promover, entre otros, la conservación de los suelos y el agua, la **captura de carbono**, la reducción de GEI y la resiliencia del sistema productivo a la variabilidad y el cambio climático con la apropiación de conocimiento, además de motivar al sector panelero a transitar hacia una economía circular, especialmente con el uso de la biomasa residual (figura 2).



Glosario

Captura de carbono:

Consiste en sustraer CO_2 de la atmósfera almacenándolo en sumideros ecológicos. Los suelos agrícolas están entre los mayores depósitos de carbono del planeta, con lo cual contribuyen a mitigar la creciente concentración atmosférica de CO_2 (2002).



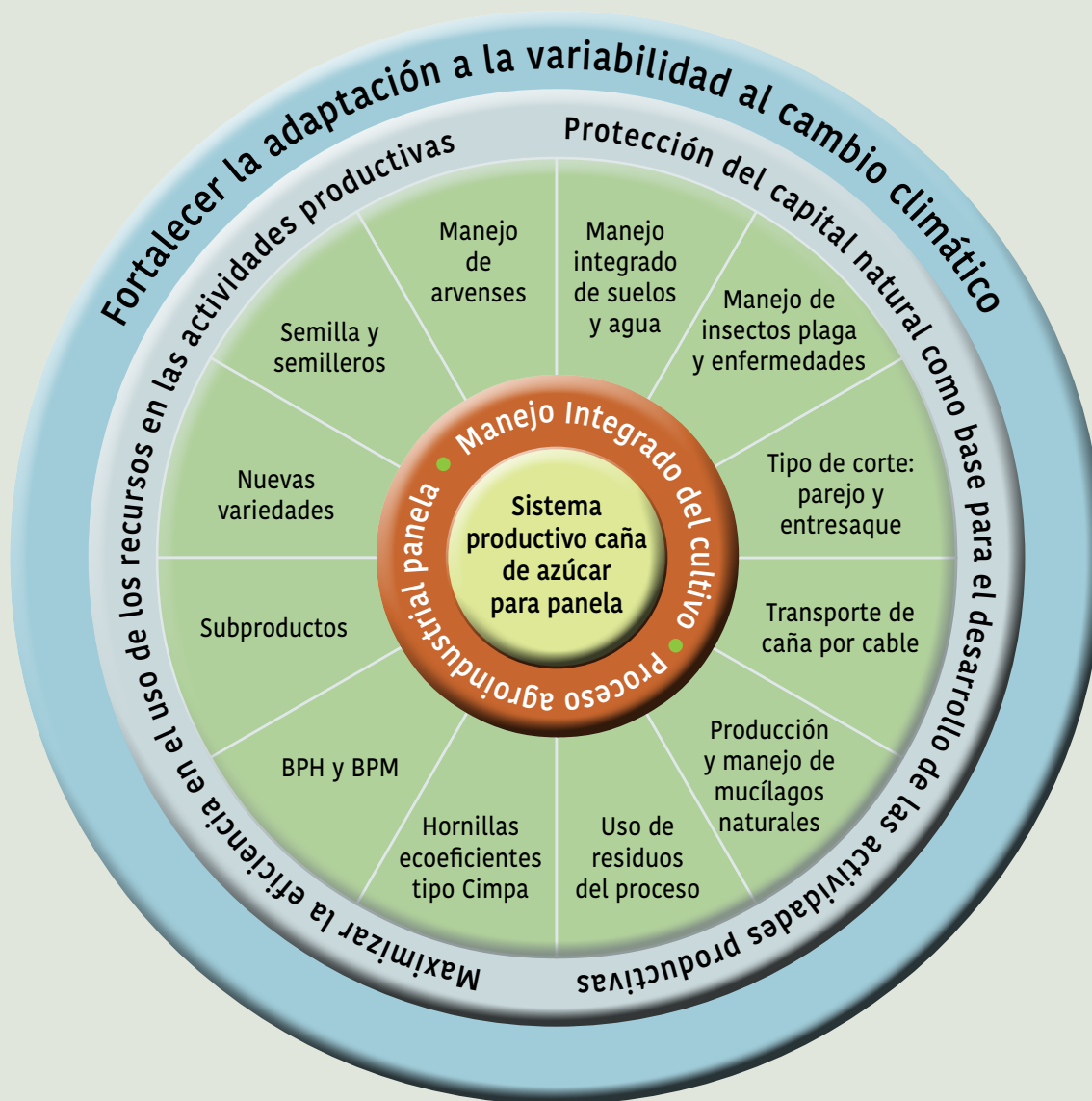


Figura 2. Tecnologías del sistema productivo de caña de azúcar para panela que contribuyen a implementar los principios de la Política de Crecimiento Verde y a aumentar su resiliencia.

Fuente: Elaboración propia



Descripción general del sistema productivo



En 2020, el área cosechada de azúcar (*Saccharum officinarum* L.) para la producción de panela en Colombia fue de 165.980 hectáreas (ha), de las cuales se obtuvieron 1.085.567 toneladas (t), lo que representa un rendimiento promedio de 6,5 toneladas por hectárea (t/ha^{-1}) (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural [MADR], 2021a). Sumado a esto, según la zonificación agropecuaria del país, se cuenta con 2.800.577 ha con aptitud alta para la producción de caña para panela, es decir, el 2,5 % de la frontera agrícola nacional (Unidad de Planificación Rural Agropecuaria [UPRA], 2021).

El sector **agroindustrial de la panela** se considera uno de los más tradicionales y representativos desde el punto de vista social, económico y de seguridad alimentaria, pues genera alrededor de 350.000 empleos directos y agrupa a más de 70.000 productores de pequeña a mediana escala, los cuales procesan la caña en aproximadamente 18.000 trapiches o unidades productoras de panela, distribuidos en la región Andina colombiana (Rodríguez-Borray *et al.*, 2020). Además, en Colombia el cultivo de caña de azúcar para la producción de panela tiene estos impactos positivos:

- **Contribuye a reducir los gases de efecto invernadero (GEI)** gracias a su capacidad para capturar carbono, la cual se ha estimado entre 18,2 t/ha y 57,3 t/ha (Sierra-Cárdenas, 2010).



Glosario

Agroindustria

panelera: Empresa que elabora productos edulcorantes derivados de la caña de azúcar mediante actividades de cultivo, poscosecha, procesamiento, empaque y comercialización (Quezada-Moreno, 2007).



- **Protege el recurso suelo y la biodiversidad de organismos y microorganismos** (Maldonado *et al.*, 2006; Ramírez *et al.*, 2020). Los suelos cultivados con caña cuentan con cobertura permanente de hojarasca y ciclaje de nutrientes (Maldonado *et al.*, 2006) debido al deshoje natural de las plantas (Castillo & Silva, 2004; Larrahondo & Villegas, 1995; Sage *et al.*, 2014) y a las prácticas de corte o cosecha de los tallos (entresaque o parejo) (Manrique *et al.*, 2010; Rodríguez-Borray *et al.*, 2020).
- **Favorece la conservación de la biodiversidad de microorganismos** (Beltrán, 2014; Moya, 1997; Ramírez *et al.*, 2020; Restrepo-Franco *et al.*, 2015) y minimiza los daños a la estructura del suelo y las pérdidas de nutrimentos por lixiviación o erosión (Tauta-Muñoz *et al.*, 2018). Esto se debe a que la baja tasa de renovación de los cultivos (desde 20 hasta 30 años) (Deantonio-Florido *et al.*, 2021; Murcia-Pardo & Ramírez-Durán, 2017; Ramírez-Durán *et al.*, 2019; Tarazona-Parra, 2011) genera escasa a nula preparación de suelos para renovación de los cultivos en zonas de montaña o ladera (López & Osorio, 2000; Manrique *et al.*, 2010; Rodríguez-Borray *et al.*, 2020).
- **Reduce el uso de agroquímicos** (Forero & Sánchez, 2016; Rodríguez-Borray *et al.*, 2020) y, en algunas regiones paneleras, de fertilizantes de síntesis química (Forero & Sánchez, 2016; López & Osorio, 2000; Manrique *et al.*, 2010; Rodríguez-Borray *et al.*, 2020), lo cual podría contribuir a promover la resiliencia y sostenibilidad de los recursos naturales.



Glosario

Biodiversidad del suelo:

Variedad de organismos vivos que habitan el suelo: bacterias, hongos, protozoarios y nematodos (microorganismos), ácaros y colémbolos (mesofauna), y lombrices, termitas (macrofauna). Incluye las simbiosis e interacción con las raíces y otros componentes del suelo (FAO, 2021).



- **Usa de forma eficiente los recursos disponibles**, puesto que cuenta con un mecanismo fotosintético tipo C4 que fija el CO₂ atmosférico (Sage *et al.*, 2014).
- **Intercepta altos niveles de radiación solar** (Sage *et al.*, 2014).
- **Usa de manera eficiente el agua**, con valores medios de evapotranspiración de entre 1.200 mm y 1.500 mm año⁻¹ y valores máximos de evapotranspiración potencial de 3,7 mm día⁻¹ (Torres *et al.*, 2004). Esto genera una alta fijación de carbono orgánico y, por ende, altos rendimientos de caña (Sage *et al.* 2014).

También se debe mencionar que la producción de caña de azúcar para panela presenta distintas ventajas competitivas (Porter, 2007), entre las cuales se podrían incluir: **las condiciones de los factores de producción (por ejemplo factores climáticos, factores edáficos, factores agronómicos y factores humanos); la demanda; los sectores afines y de apoyo, y la estructura, estrategia y competencia en el mercado.**

Los cultivares comerciales de caña de azúcar para panela se han adaptado a diversas zonas agroecológicas (Ramírez-Durán *et al.*, 2014): región Andina, valles interandinos, Caribe y Llanos Orientales, en las cuales se ubican los principales núcleos y departamentos productivos (Santander, Boyacá, Cundinamarca, Antioquia, Caldas, Quindío, Risaralda, Cauca, Valle del Cauca, Nariño, Huila y Tolima) (MADR, 2020) (figura 3).



Glosario

Agroquímicos o

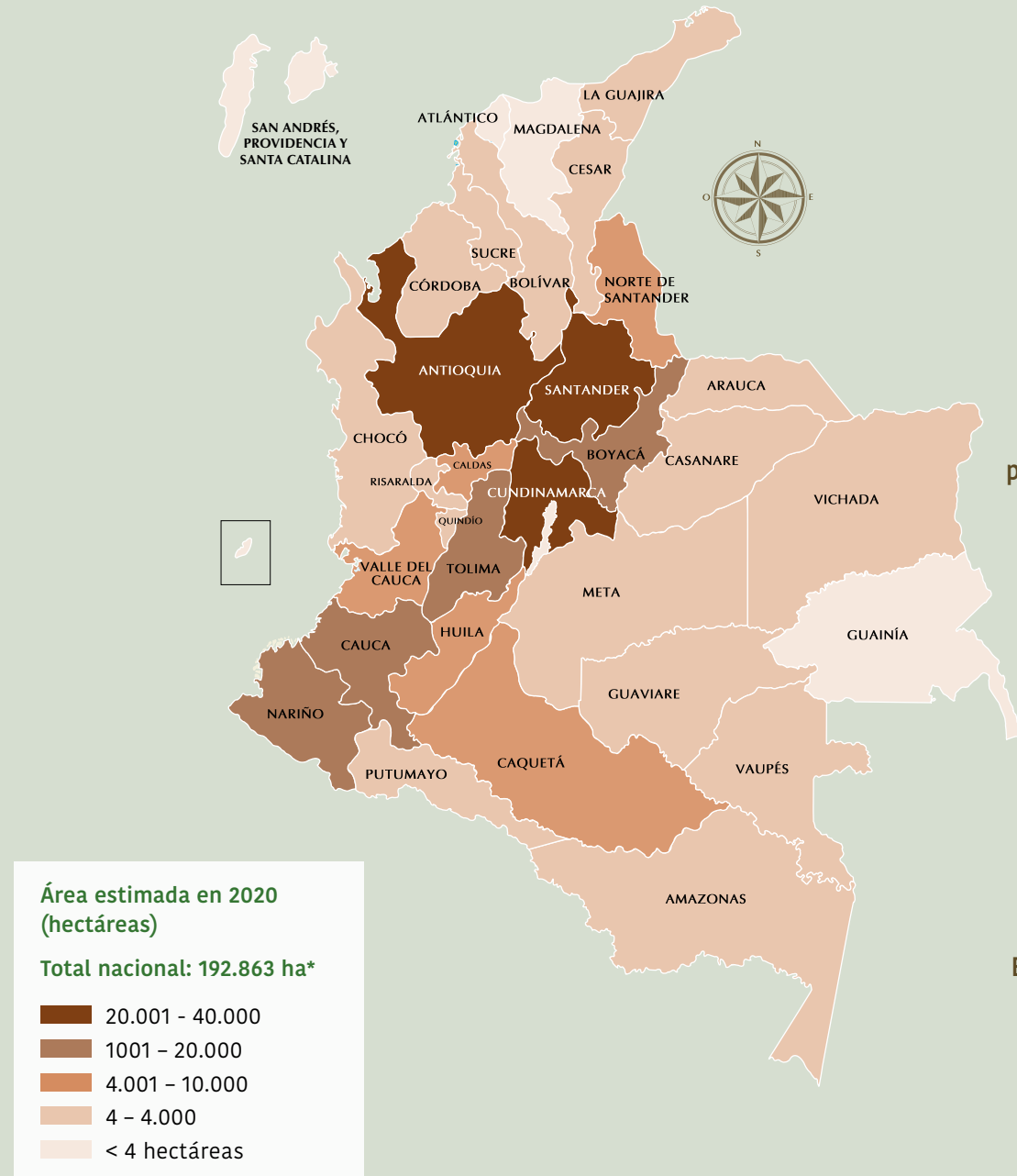
plaguicida: Sustancia o mezcla de sustancias destinadas a prevenir, destruir o controlar cualquier insecto plaga o vector de enfermedades vegetales o animales (FAO, 2002b).

Evapotranspiración potencial (ETP):

Cantidad máxima de agua que se puede evaporar en una cubierta vegetal continua bien dotada de agua en un clima, tiempo y región determinados. (IDEAM, 2017 y 2021).



Cultivo de caña de azúcar para la producción de panela en Colombia



* Sumatoria del área por departamento reportada en MADR (2021a).



La caña de azúcar se siembra en 3.362 predios y el cultivo genera 91.646 empleos directos y 65.069 empleos indirectos

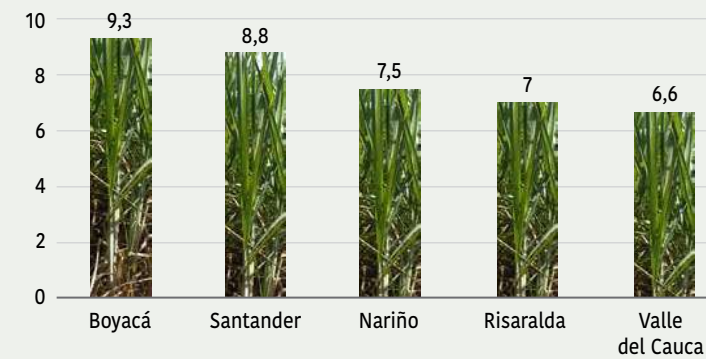
Fuente: MADR (2021)



En 2021 se exportaron 12.480 t de panela. Estados Unidos y España representan el 73 % del mercado

Fuente: MADR (2021a)

Departamentos con mayor rendimiento de caña de azúcar para la producción de panela en 2020 (t/ha)



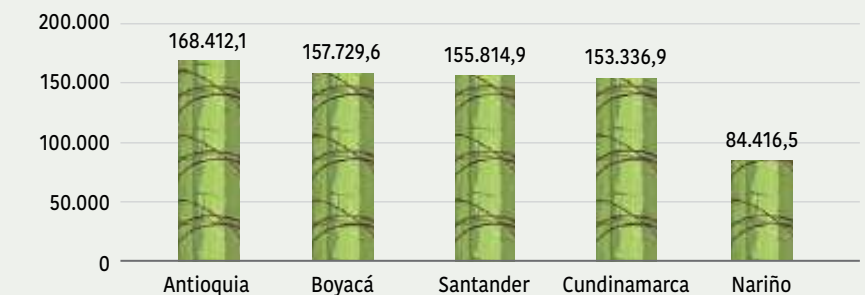
Fuente: MADR (2021a)



Desde 2016, Colombia es el segundo mayor productor mundial de azúcar no centrifugado (panela), con una participación promedio de 16 %

Fuente: MADR (2021a)

Principales departamentos productores de caña de azúcar para la producción de panela en 2020 (t)



Fuente: MADR (2021a)

Figura 3. Aspectos económicos del cultivo de caña de azúcar para la producción de panela.

Fuente: MADR (2021a)



El cultivo alcanza su mayor productividad en regiones con altitudes entre los 900 y los 1.600 m s.n.m.; temperaturas entre 25°C y 26°C; cinco a ocho horas diarias de brillo solar, y 1.500 mm a 1.800 mm anuales de precipitación (Álvarez & Farías, 2012; López & Osorio, 2000; Rodríguez-Borray *et al.*, 2020). La duración del ciclo productivo de la caña oscila entre 15 y 18 meses, sin embargo, esto depende principalmente del cultivar y de las condiciones edafoclimáticas de la zona productora (Barona-Rodríguez *et al.*, 2020; López, 2015; López & Osorio, 2000; Ramírez-Durán *et al.*, 2014; Rodríguez-Borray *et al.*, 2020), ya que rangos de temperatura inferiores y altitudes mayores a las descritas pueden incrementar el período vegetativo (Ramírez-Durán *et al.*, 2014).

A partir de investigaciones realizadas por AGROSAVIA con las variedades Cenicaña Colombia (CC) cultivadas de forma experimental en diversas regiones paneleras, con un adecuado manejo agronómico de los cultivares CC 00-2639, CC 01-1305, CC 01-678, CC 88-439, CC 91-1555, CC 92-2154, CC 92-2198, CC 92-2965, CC 93-3458, CC 93-714, CC 93-7510, CC 93-7711, CC 99-1405, CCSP 84-43 y RD 75-11, se puede llegar a obtener rendimientos entre 143,8 y 270,6 t/ha⁻¹ de caña, y 21,5 y 32,0 t/ha⁻¹ de panela (Ramírez-Durán *et al.*, 2014). Recientemente, para el departamento de Santander, Barona-Rodríguez *et al.* (2021) reportaron un rango de rendimiento de caña entre 95,2 y 146,4 t/ha⁻¹, y de panela entre 10,0 y 16,9 t/ha⁻¹ con los cultivares CC 00-3257, CC 00-3771, CC 10-450, CC 11- 600, CC 91-1606 y CC 99-2461.

En Colombia, el sistema productivo de la caña de azúcar para la elaboración de panela y su manejo agronómico varían entre regiones (Álvarez & Farías, 2012; Forero & Sánchez, 2016; López & Osorio, 2000; Rodríguez-Borray *et al.*, 2020). A pesar de esto,

“ A partir de las variedades de Cenicaña Colombia (CC), a nivel experimental AGROSAVIA reporta rendimientos de caña entre 95,2 y 270,6 t/ha-1 y de panela entre 10,0 y 32,0 t/ha-1 ”



existen algunas prácticas o labores de cultivo básicas (Álvarez & Farías, 2012; García *et al.*, 2007; Manrique *et al.*, 1997; Osorio, 2007; Rodríguez-Borray *et al.*, 2020) en las cuales se pueden enmarcar y promover las buenas prácticas para contribuir al Crecimiento Verde de este sistema productivo, así como aportar al aumento de la productividad, la competitividad y la sostenibilidad. De estas se resaltan:

- **La instalación de semilleros básicos** para obtener semilla seleccionada y sembrarla.
- **Adecuación y preparación del suelo** cuando se presenta renovación o ampliación de áreas.
- **Manejo de arvenses o malezas** y manejo integrado de la fertilización orientada a la optimización del agua y suelo.
- **Manejo integrado** de insectos plaga y enfermedades.
- **Prácticas de cosecha** como los cortes por parejo y por entresaque.
- **Reúso de la biomasa** y cogeneración de energía para la agroindustria de la panela.
- **Fomento de negocios verdes** en el marco de la **bioeconomía** con usos alternativos de la caña y diversificación de productos.
- **Apropiación de conocimiento** relacionado con prácticas o estrategias de mitigación y adaptación al cambio climático, y reducción de GEI.



Glosario

Bioeconomía:

Producción, utilización y conservación de recursos biológicos, incluidos los conocimientos, la ciencia, la tecnología y la innovación relacionados con ellos, para proporcionar información, productos, procesos y servicios en todos los sectores económicos, con el propósito de avanzar hacia una economía sostenible (IAC-GBC, 2018; European Commission, 2020).



Base para desarrollar las actividades productivas

Proteja el capital natural

Conserve
los suelos

Reúse la biomasa
residual para
fabricar abonos
orgánicos

¿Cómo contribuyen
estas recomendaciones
a proteger el capital
natural en el cultivo de
caña para panela?





Según el Departamento Nacional de Planeación (DNP, 2019), **la protección del capital natural como base para el desarrollo de las actividades productivas es un principio que busca aumentar la producción de energía renovable obtenida a partir del viento, el sol y la biomasa (uso de residuos), así como promover un modelo rentable de negocios verdes sostenibles, mediante la generación de bienes o servicios con menor impacto ambiental o sobre los recursos naturales.**

En el caso específico de la caña, entre las prácticas sostenibles, entendidas como el mejor y mayor aprovechamiento de los recursos naturales o disponibles en el sistema de producción de caña de azúcar para panela, se encuentran:

- **Se maneja como cultivo permanente.** Esto implica una baja perturbación de las condiciones ambientales y del sistema productivo, con lo cual se reduce el impacto sobre el suelo, agua, aire y, principalmente, de los microorganismos benéficos establecidos en este agroecosistema.
- **Tiene bajo uso de insumos químicos e insumos externos a la finca.** La alta capacidad adaptativa y productiva de la caña de azúcar, así como la flexibilidad que ha demostrado frente a manejos agronómicos y condiciones ambientales contratantes, permite que su producción se realice manteniendo un balance ecológico y una baja dependencia a recursos externos.





- Se emplean **mucílagos vegetales** en la limpieza de los **jugos** (Maldonado *et al.*, 2006). Esta práctica promueve la diversificación de especies en los sistemas productivos de caña de azúcar para panela, y asegura la disponibilidad de uno de los insumos naturales requeridos en la clarificación de los jugos.

Además, según Hernández *et al.* (2008), los mejores resultados en el manejo sostenible del cultivo se obtienen utilizando diversas prácticas, como:

- Labranza mínima.
- Cultivos de coberturas.
- Uso de **vinazas**.
- Compostas.
- Encalados.
- Incorporación de residuos.
- Tratamientos del ambiente.

Sumado a esto, a continuación se describen las prácticas y recomendaciones que aportan a los principios de crecimiento verde y a la sostenibilidad de este sistema productivo.



Glosario

Mucílagos vegetales:

Sustancias viscosas extraídas de la corteza, tallos y hojas de algunas plantas que se emplean para clarificar los jugos de caña y mejorar la calidad de la panela.

Vinazas: Residuos orgánicos obtenidos durante la producción de jugos de caña.





Conserve los suelos

Para comprender mejor cuáles son las prácticas que contribuyen a conservar el suelo en el cultivo de caña de azúcar para la producción de panela en Colombia, **es importante tener en cuenta que este sistema productivo se concentra en la región Andina (Álvarez & Farías, 2012; MADR, 2020; Osorio, 2007; Rodríguez-Borray *et al.*, 2020), cuyos suelos presentan las siguientes condiciones de vulnerabilidad:**

- **Pendientes pronunciadas:** se trata de un paisaje montañoso con pendientes que oscilan entre el 7 % y más del 12 % (López & Osorio, 2000; UPRA, 2021). Esto implica una permanente remoción de suelos producto del movimiento de agua y, en consecuencia, la pérdida de nutrientes por el agua de escorrentía. Asimismo, esta condición asociada a los típicos paisajes de las regiones paneleras limita la realización de labores, manejo y **conservación de suelos**, y hasta la renovación de los cultivos.
- **Erosión y degradación:** estos suelos tienen rocas y poca profundidad efectiva, de manera que son vulnerables a la erosión causada por el viento y el agua. Como consecuencia, los suelos son más frágiles y hay mayor probabilidad de que se presente remoción en masa en períodos intensos de lluvias, lo cual ocasiona la pérdida de su estructura y degradación (AGROSAVIA, 2019; Tauta-Muñoz *et al.*, 2018; UPRA, 2021). Sumado a esto, como las raíces de la caña se concentran en los primeros centímetros del suelo, es más difícil la penetración y soporte de la planta, así como la adecuada absorción de nutrientes y agua en suelos afectados por la erosión o degradados.



Glosario

Conservación de suelos: Métodos apropiados del manejo de la tierra que ayudan a invertir la degradación de recursos del suelo, agua y biológicos y aumentar la producción de cultivo y ganadería (FAO, 2021b).



- **Compactación:** estos suelos tienen una elevada exposición al pisoteo de los animales de carga (AGROSAVIA, 2020) que transportan la caña entre los lotes para que sea acopiada en los trapiches o unidades productoras de panela (García *et al.*, 2007; Osorio, 2007). Adicionalmente, las clases texturales como arcillas aumentan la vulnerabilidad de los suelos paneleros a esta problemática. La compactación de los suelos podría ser irreversible y afectar el sistema radicular de la caña, lo cual altera el normal desarrollo del cultivo y su rendimiento.

Precisamente, con el propósito de aumentar la resiliencia del cultivo a estas características y prevenir la degradación del suelo, a continuación se presentan las prácticas que podrían favorecer su conservación.

Siembre especies nativas y establezca barreras multiestrato

A pesar de que la caña de azúcar proporciona una cobertura natural al suelo con la hojarasca, su remoción y las condiciones que aumentan su vulnerabilidad (pendientes pronunciadas, erosión y degradación, y compactación) constituyen un ambiente adverso para conservar los suelos de manera sostenible. Por tal razón, **la diversificación de especies vegetales en los sistemas de producción de caña asegura la protección de los suelos, la creación de alternativas económicas con especies forestales y la despensa de mucílagos naturales empleados en la transformación de la caña en panela. Adicional a la diversificación de plantas, con**

“ Las pendientes pronunciadas, cierto grado de compactación y la degradación que presenta la mayoría de los suelos con este cultivo hacen necesario implementar prácticas que favorezcan su conservación ”

la siembra de especies nativas y barreras vivas se podría fomentar el establecimiento de microorganismos benéficos tanto para el suelo como para plantas vecinas a la caña.

En este sentido, se recomienda que establezca especies vegetales en diferentes alturas (niveles o estratos):

1. **Estrato herbáceo:** siembre plantas de porte bajo hasta un metro de altura.
2. **Estrato arbóreo:** siembre y conserve especies arbustivas, semileñosas y/o forestales (López & Osorio, 2000; Maldonado *et al.*, 2006) (figura 4).

Para implementar un arreglo multiestrato en el cultivo de la caña debe tener en cuenta, entre otros aspectos, la topografía del terreno (Maldonado *et al.*, 2006), las especies vegetales y su dinámica de crecimiento (López, 2015), así como las distancias de siembra del cultivo.

A continuación se describen algunos de los arreglos agroforestales con especies nativas y barreras multiestrato, así como los aspectos que debe considerar (López, 2015; Maldonado *et al.*, 2006) (figura 5):



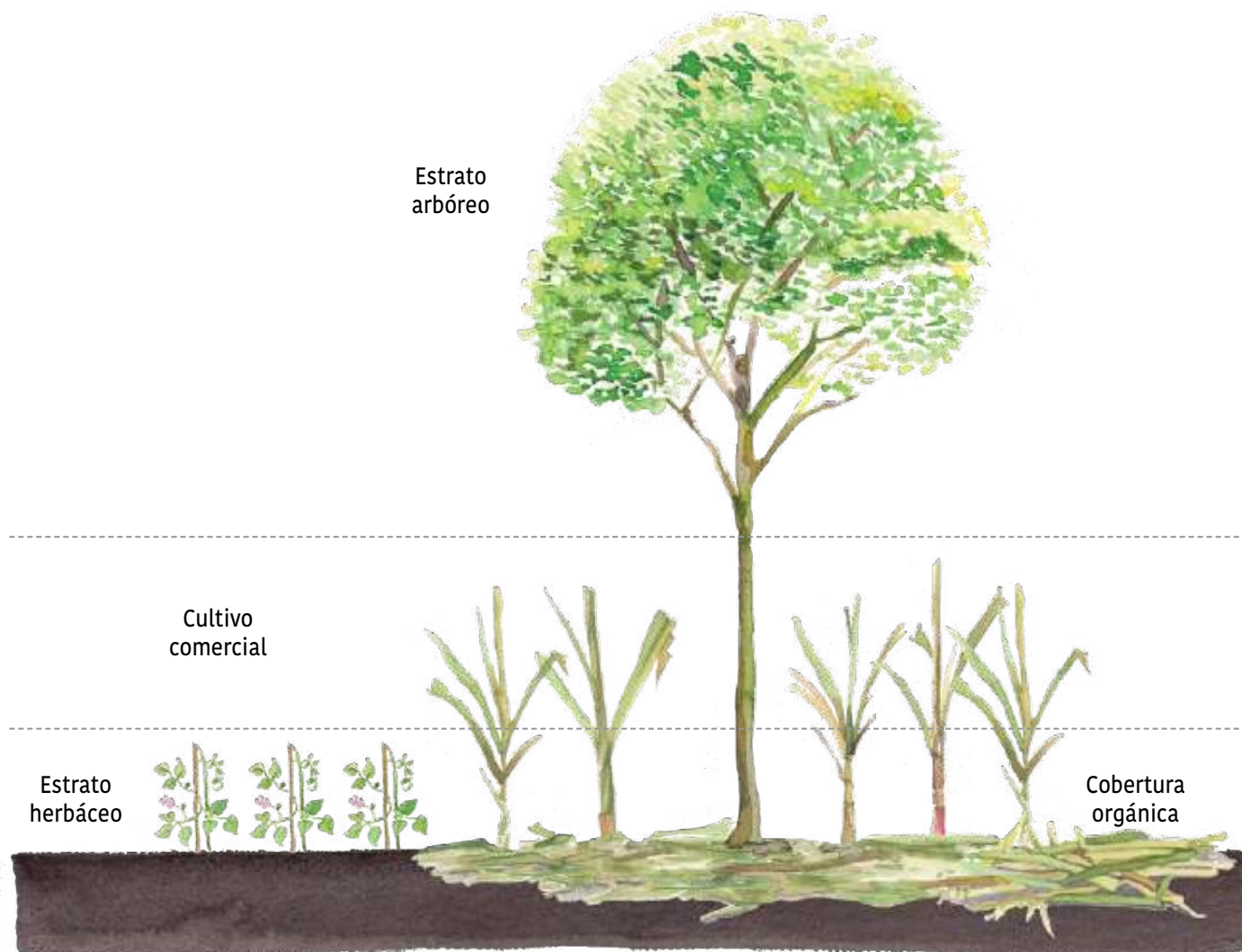


Figura 4. Esquema de establecimiento de especies nativas y barrera multiestrato en el sistema productivo de caña y opciones de arreglos multiestrato en el cultivo de caña de azúcar para panela.

Fuente: Elaboración propia

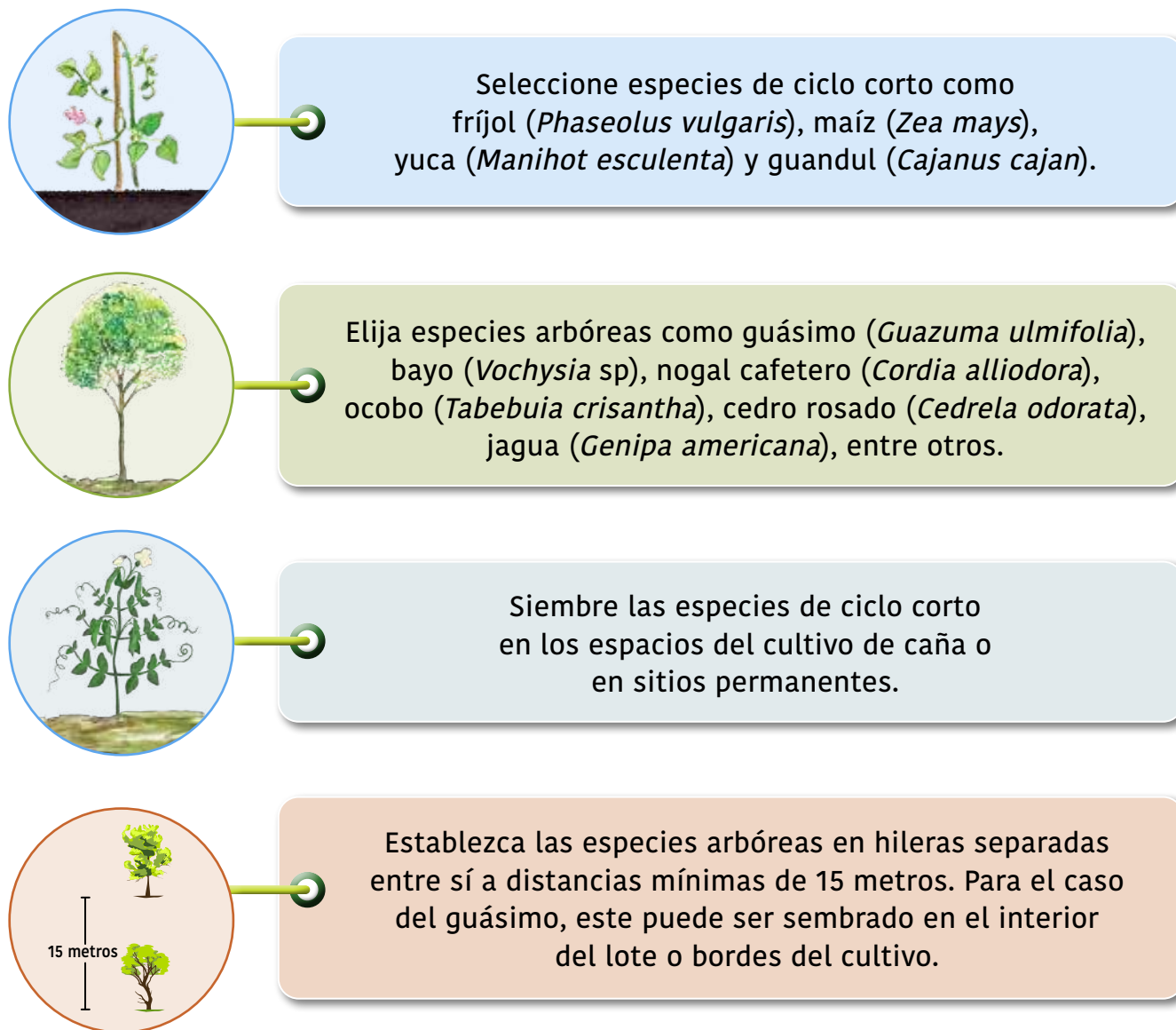


Figura 5. Opciones de arreglo multiestrato en el cultivo de caña de azúcar para panela.

Fuente: Adaptado de Maldonado et al. (2006)

Cubra el suelo con materia orgánica

Esta práctica hace referencia a la cobertura permanente del suelo con residuos de cosecha y/o cobertura vegetal (FAO, 2017). Mantener este tipo de coberturas trae beneficios para el suelo en cuanto se minimiza la exposición de la capa arable y primeros centímetros del suelo al impacto directo de las gotas de lluvia y a su movimiento permanente a causa de la escorrentía natural. Asimismo, se reduce la incidencia directa de la radiación solar, la cual podría acelerar procesos de degradación de los suelos debido a la evaporación, pérdida de la actividad microbiana y de la capacidad de establecer simbiosis y sinergia de la micro, meso y macro fauna del suelo.

En el caso del cultivo de caña de azúcar, esta actividad cobra relevancia debido a que las plantas producen gran cantidad de biomasa hasta que inician la acumulación de sacarosa y, como indican Sage *et al.* (2014), presentan **deshoje** natural permanente (figura 6).



Glosario

Deshoje: Etapa o proceso en que la caña de azúcar pierde sus hojas. Puede ocurrir de forma natural, dependiendo de la variedad, el grado de acumulación de sacarosa o la madurez de los tallos, o de manera artificial: manual, química o mecánica (Castillo & Silva, 2004; Larrahondo & Villegas, 1995).





a

Figura 6. Hojarasca de la caña de azúcar para panela cubriendo el suelo. a. Predios de caña de azúcar para panela cosechados con suelos cubiertos de hojarasca protegiéndolo del pisoteo de animales, del impacto de las gotas de lluvia, de la escorrentía y de la radiación solar directa; b. Caña de azúcar con hojas senescentes y secas que se incorporan al suelo como cobertura vegetal que continúa su proceso de descomposición y protección del suelo.



b

Fotos: Ximena López y Banco de Fotos AGRISAVIA



La velocidad de deshoje y la cantidad de biomasa producida a lo largo del ciclo productivo que estará disponible para cubrir el suelo varía en función del desempeño de los cultivos de caña (Ramírez-Durán *et al.*, 2014). **No obstante, el manejo agronómico de la caña de azúcar, la duración de sus ciclos productivos y las condiciones ambientales son determinantes para alcanzar una mayor cobertura del suelo y a su vez una capa de residuos que permanentemente se descompondrá e integrará al suelo.**

Diseño y ejecute un manejo integrado de la fertilización

La fertilización integrada sugiere emplear las diversas alternativas existentes para alcanzar el manejo sostenible y la conservación de los suelos agrícolas. Con este propósito, se parte del conocimiento de las propiedades físicas, químicas y hasta biológicas del suelo, así como de los requerimientos nutricionales del cultivo para plantear recomendaciones integrales sobre la dosis, la fuente de fertilización (química, orgánica o biológica) y/o enmiendas, y la frecuencia de aplicación que aseguren altos rendimientos sin poner en riesgo la disponibilidad y calidad de este recurso para el futuro.

La caña de azúcar es un cultivo permanente que remueve cantidades importantes de nutrientes del suelo en cada ciclo productivo (tabla 2). Los principales cultivos comerciales de caña empleados para la producción de panela absorben en su respectivo orden estos elementos: nitrógeno (N), potasio (K), calcio (Ca), fósforo (P) y magnesio (Mg). Especialmente a los 335 días después del corte (DDC) para el N, Ca y Mg, y a los 392 DDC para el P y K (González-Chavarro *et al.*, 2018).

“La protección permanente del suelo con residuos de cosecha (cobertura muerta) y/o cobertura vegetal (viva) reduce el riesgo de erosión por escorrentía natural y/o radiación solar”



Tabla 2. Valores de referencia de la asimilación de los nutrientes nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y magnesio en cultivos de caña de azúcar para panela

Cantidad de nutrientes extraídos (kg/ha/año) para producir una tonelada de caña

Nitrógeno (N)	Fósforo (P ₂ O ₅)	Potasio (K ₂ O)	Calcio (CaO)	Magnesio (MgO)	Fuente
0,50-0,55	0,36-0,59	1,0-1,36	3,62	3,0-3,6	López & Osorio (2000)
1,2-1,4	0,5-0,95	5	1,6	1,2	Manrique & Insuasty (2000)
448	296	85	43	40	González-Chavarro <i>et al.</i> (2018)

Fuente: Elaboración propia

Para atender esta demanda nutricional, los planes de fertilización integrado deben garantizar el suministro en calidad y cantidad de nutrimentos que sean de fácil absorción por la caña de azúcar.

Para tal fin, es necesario que realice el análisis de suelo, identifique los requerimientos del cultivo y, con el acompañamiento de un profesional especializado en el tema (ingeniero agrónomo o técnico agrícola), defina el plan de fertilización incluyendo la aplicación de fuentes químicas, orgánicas compostadas y **biofertilizantes**, tales como:

- **Hongos formadores de micorrizas arbusculares** (Ramírez *et al.*, 2020): microorganismos del suelo que forman simbiosis con las plantas terrestres, forman arbusculos, vesículas e hifas al interior de las células corticales de las plantas que colonizan (Douds & Millner, 1999).



Glosario

Biofertilizante:

Productos que contienen microorganismos y que al ser inoculados pueden desarrollarse en asociación o en simbiosis con las plantas, y que ayudan a nutrirlas y protegerlas (Vessey, 2003).



- **Bacterias fijadoras de nitrógeno** (Fernández & Rodríguez, 2005): estos organismos incorporan el nitrógeno atmosférico a su organismo y lo depositan al suelo cuando mueren. Se encuentran junto a las raíces leguminosas, donde forman nódulos en las células corticales habitadas por las bacterias (FAO, 2021a).
- **Solubilizadoras de fosfatos** (Beltrán, 2014).

En general, estos microorganismos promotores de crecimiento (Morgado *et al.*, 2015), al igual que especies pertenecientes a los géneros *Rhizobium* sp., *Pseudomonas* sp. y *Azospirillum*, colonizan la raíz y mejoran el desarrollo radicular, estimulan significativamente el crecimiento y productividad en las plantas, así como su actividad enzimática. Estas funciones tienen una implicación directa en la conservación de los suelos porque promueven la diversificación de los microorganismos encargados de mantener el componente biológico y brindar al cultivo mayor exploración de las raíces en el perfil del suelo e incremento en la absorción de agua y nutrientes.

Incluya en este plan de fertilización integrado las acciones de preparación del suelo y las que se realizan antes, durante y después de la siembra (figura 7).



Información complementaria

Programe la realización de los análisis de suelos y tejido foliar de sus cultivos de caña de azúcar para panela. Recuerde que AGROSAVIA cuenta con los laboratorios de Química Analítica y con la acreditación ISO/IEC 17025 en los principales parámetros de suelo.

Mayor información:
www.agrosavia.co
Correo electrónico:
atencionalcliente@agrosavia.co
Línea nacional de atención al cliente: 018000121515
Teléfonos (601) 4227300
Ext.1369-1428



Antes de la siembra: se recomienda que aplique correctivos para reducir la acidez de los suelos (cal domita o viva, entre otros correctivos de uso comercial).

Durante la siembra: aplique fertilizantes orgánicos compostados a partir de la biomasa residual de los cultivos y biofertilizantes.

Después de la siembra: a los 90 días de realizada la siembra y/o dos a tres meses después del corte, se recomienda que suministre una mezcla de nitrógeno, potasio, fósforo y elementos menores (Rodríguez-Borray *et al.*, 2020).

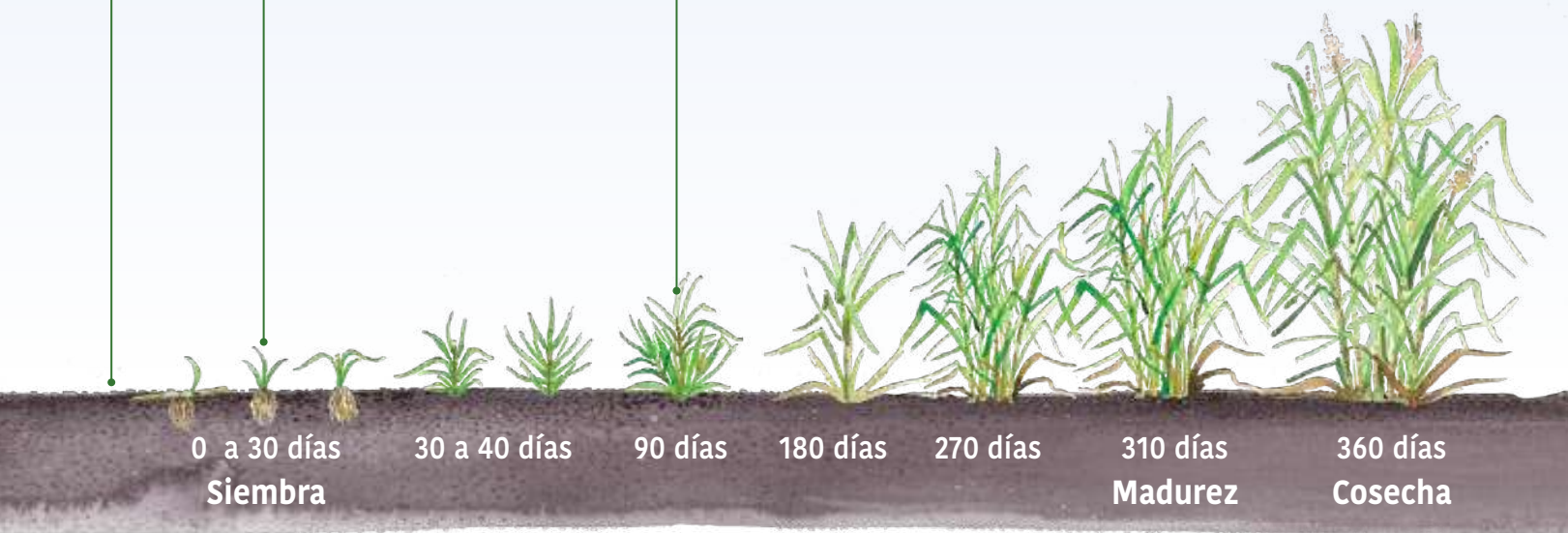


Figura 7. Esquema general de las épocas de fertilización sugeridas para el cultivo de caña de azúcar para panela.

Fuente: Elaboración propia



Reúse la biomasa residual para fabricar abonos orgánicos

En la Política de Crecimiento Verde se resalta la importancia de considerar los subproductos agrícolas como insumo para fabricar coproductos. En cuanto al cultivo de la caña de azúcar, **los principales cultivares empleados para la elaboración de panela en Colombia producen entre 37 % y 57 % de bagazo verde como residuos del procesamiento agroindustrial (García *et al.*, 2007; Osorio, 2007; Ramírez-Durán *et al.*, 2014), lo que significa que este sistema productivo provee una fuente importante de biomasa residual para obtener nuevos productos.**

Entre estos se encuentran los fertilizantes orgánicos compostados, que se obtienen mediante la descomposición de materiales biológicos por la acción de microorganismos aeróbicos, es decir, que necesitan oxígeno para desarrollarse (Maldonado *et al.*, 2006; Osorio, 2007). La producción de fertilizantes orgánicos basados en el uso de biomasa residual de caña facilita su provisión en los planes de fertilización integrado, que como se ha mencionado tiene amplios beneficios para la conservación de los suelos, principalmente por ser una fuente orgánica permanente que proporciona cobertura al suelo con la hojarasca y también nutrientes esenciales para el crecimiento de las plantas.

A continuación, se describe el proceso de elaboración de abonos orgánicos a partir de la biomasa residual que se genera en el cultivo de caña.



Glosario

Bagazo: Residuo vegetal que queda después de extraer todos los jugos de la caña en el proceso agroindustrial (Cenicaña, 1995).

Adecúe el lugar

Puede fabricar este **bioinsumo** en pilas, trinchos (cajón para terrenos pendientes) o cajones de madera o guadua, con un volumen de alrededor de un metro cúbico (1 m^3), en áreas con pendientes no tan pronunciadas y protegidas con cubiertas plásticas o materiales de fácil adquisición por los productores (figura 8), de manera que los microorganismos que se agregan tengan las condiciones necesarias para descomponer la biomasa.



Glosario

Bioinsumo: Productos constituidos de organismos vivos, extractos de plantas y sus compuestos derivados de origen biológico o natural, que se usan como insumos en la producción agropecuaria (IICA, 2020).

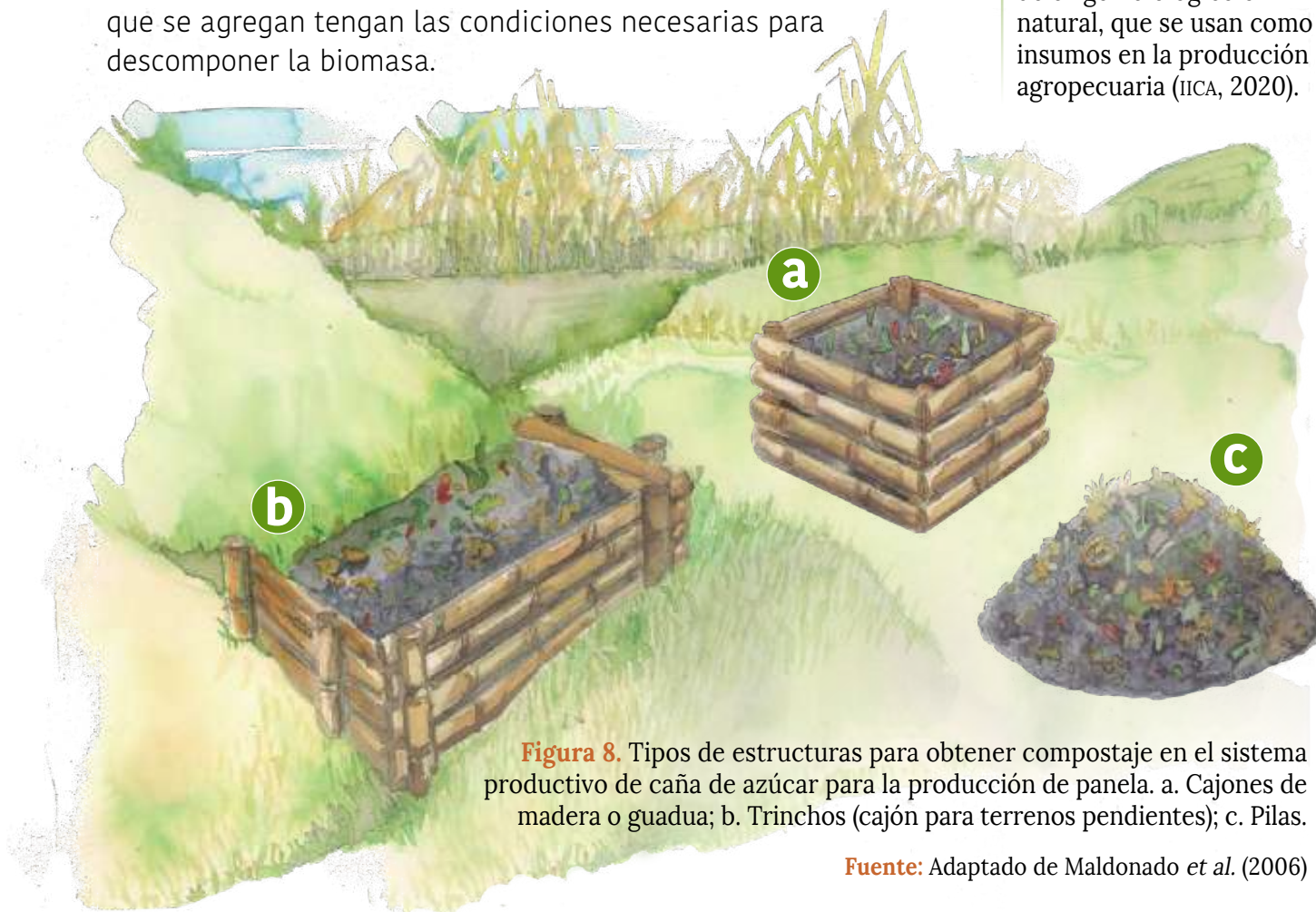


Figura 8. Tipos de estructuras para obtener compostaje en el sistema productivo de caña de azúcar para la producción de panela. a. Cajones de madera o guadua; b. Trinchos (cajón para terrenos pendientes); c. Pilas.

Fuente: Adaptado de Maldonado *et al.* (2006)



Monte la pila

A continuación se describe el proceso de elaboración de abono orgánico con biomasa obtenida en la producción de caña de azúcar para panela:

1. **Deposite** una capa de tierra para la absorción de lixiviados.
2. **Agregue** una capa de material vegetal seguida de una de residuos animales en una proporción de 4 a 1.
3. **Humedezca** las capas con agua, melaza, residuos de guarapo, miel o jugo de caña.
4. **Repita** los pasos anteriores procurando que la última capa sea vegetal.
5. **Cubra** la pila con una capa de tierra y una capa de residuos vegetales.
6. **Proteja** el sitio de la lluvia.
7. **Mueva o volteee** diariamente la pila para permitir la entrada de aire, homogenizar el compost y acelerar el proceso de descomposición.
8. **Controle** el exceso de humedad agregando material adicional y/o humedezca la pila en el caso contrario (Maldonado *et al.*, 2006; Osorio, 2007). Para tal fin puede aplicar la prueba del puño (FAO, 2013), la cual consiste en introducir la mano en la pila, sacar un “puñado” de material y abrir la mano: si la humedad es adecuada, el material debe quedar agregado, pero sin escurrir agua, de lo contrario la pila se debe voltear y/o añadir material secante como aserrín o paja. Si el material queda suelto en la mano, entonces se debe añadir agua y/o material fresco (FAO, 2013).

“ Los principales cultivos empleados para la fabricación de panela en Colombia proveen una fuente importante de biomasa residual para obtener nuevos productos ”

Monitoree y controle la temperatura

El proceso de descomposición de la biomasa puede durar entre 60 y 120 días, dependiendo de la temperatura ambiental y la que tenga el interior de la pila de residuos (Maldonado *et al.*, 2006). Durante este tiempo, monitoree la temperatura con un termómetro digital y/o análogo, vigilando que esta no supere los 60°C a 70°C, pues si sucede, esto disminuiría la calidad química y microbiológica del material. En caso de que se supere dicha temperatura, debe voltear el material dos a tres veces por semana (Luna-Geller & Bolaños-Benavides, 2007).

Finalice la elaboración del abono orgánico

El tiempo estimado para obtener el abono orgánico puede ser de hasta cinco meses, dependiendo de las condiciones ambientales y el manejo del compostaje (Toscano, 2006; citado por Osorio, 2007). Se considera que el fertilizante orgánico compostado se encuentra listo para usar cuando presenta las siguientes características:

- Tiene un color oscuro a negro.
- No cuenta con partículas visibles del material original.
- Emite olor a tierra fresca.
- Se encuentran organismos como la lombriz de tierra (Maldonado *et al.*, 2006).
- Presenta estas relaciones o partes de carbono:nitrógeno (C/N) de 20/1 a 25/1 (Luna-Geller & Bolaños-Benavides, 2007).
- Cuenta con una humedad del 40 % (Luna-Geller & Bolaños-Benavides, 2007).





¿Cómo contribuyen estas recomendaciones a proteger el capital natural en el cultivo de caña para panela?

Las estrategias y prácticas recomendadas para proteger el capital natural se articulan con la línea de acción número 28 de la Política de Crecimiento Verde, la cual resalta la importancia de “desarrollar instrumentos de planificación y técnicos para la **economía circular**” mediante la gestión integral de residuos sólidos (Conpes, 2018a).

Específicamente, **la cobertura orgánica** ubicada en el 40 % de la superficie, ya sea por *residuos vegetales* producto del deshoje natural de la caña o la *siembra de especies de porte bajo*, permite reducir la pérdida del suelo entre el 88 % y el 99 % (FAO, 2000) por erosión eólica e hídrica (Tauta-Muñoz *et al.*, 2018).

Adicionalmente, las hojas de caña retornan al suelo nutrientes mediante el aporte de materia seca y fibra bruta, con valores superiores al 42%, y relaciones carbono:nitrógeno de 62:1 (Osorio, 2007), mientras que la siembra de leguminosas puede aportar entre 60 kg/h y 100 kg/h de nitrógeno (Castro-Rincón *et al.*, 2018), lo cual demuestra que en este sistema productivo el uso de los recursos disponibles es circular.

Por otro lado, estas coberturas permiten realizar un control sostenible de arvenses porque reducen la aplicación de herbicidas, especialmente al inicio del ciclo productivo de la caña, meses siguientes a la siembra o después de la cosecha, la cual se podría considerar como una época crítica de competencia de arvenses o malezas con el cultivo.



Glosario

Economía circular:

Busca generar crecimiento económico, promover la innovación y generación de valor en sistemas de producción y consumo a través de diferentes acciones, como optimizar el uso de los recursos, aumentar la vida útil de los productos, reducir la generación de contaminación e impactos ambientales negativos, etc. (Colombia Productiva, 2018).



Por su parte, la aplicación de **fertilizantes orgánicos** producto del reúso de biomasa residual y la inoculación de hongos formadores de micorrizas arbusculares como *biofertilizantes complementarios a la fertilización química* en el cultivo de caña, no solo *mejora la eficiencia en el uso de los recursos* al favorecer el incremento en el rendimiento de los tallos y la panela, sino que también contribuye a disminuir hasta el 50 % la aplicación de nitrógeno y 18 % de fósforo (Volverás-Mambuscay *et al.*, 2020; Wilches-Ortiz *et al.*, 2019). Asimismo, mejora la retención de humedad y estructura del suelo, incrementa la capacidad de intercambio catiónico y la concentración de calcio (Ca), magnesio (Mg) y potasio (K), y disminuye la fijación de fósforo (P) (Volverás-Mambuscay *et al.*, 2020).

Finalmente, **la siembra de especies nativas y el establecimiento de barreras multiestrato** en el sistema productivo de caña de azúcar para la producción de panela prestan servicios ecosistémicos principalmente relacionados con la protección de las fuentes hídricas, el mejoramiento de la estructura y fertilidad del suelo, la disminución de la erosión y el incremento de la captura de CO₂. Además, suministran la materia prima para desarrollar procesos agroindustriales, diversificación de la producción y uso eficiente de los recursos naturales y mano de obra (Maldonado *et al.*, 2006).

A continuación, la **figura 9** sintetiza algunas de las prácticas relacionadas con las capacidades y posibilidades del sistema productivo para implementar la economía circular que se mencionaron. Sin embargo, es importante anotar que en las regiones paneleras existen innovaciones tanto en la producción de caña como en su procesamiento que podrían sumarse a la implementación de esta política.

“ **Sembrar especies nativas y establecer barreras multiestrato protege las fuentes hídricas, mejora la estructura y fertilidad del suelo, disminuye la erosión y el incremento de la captura de CO₂** ”

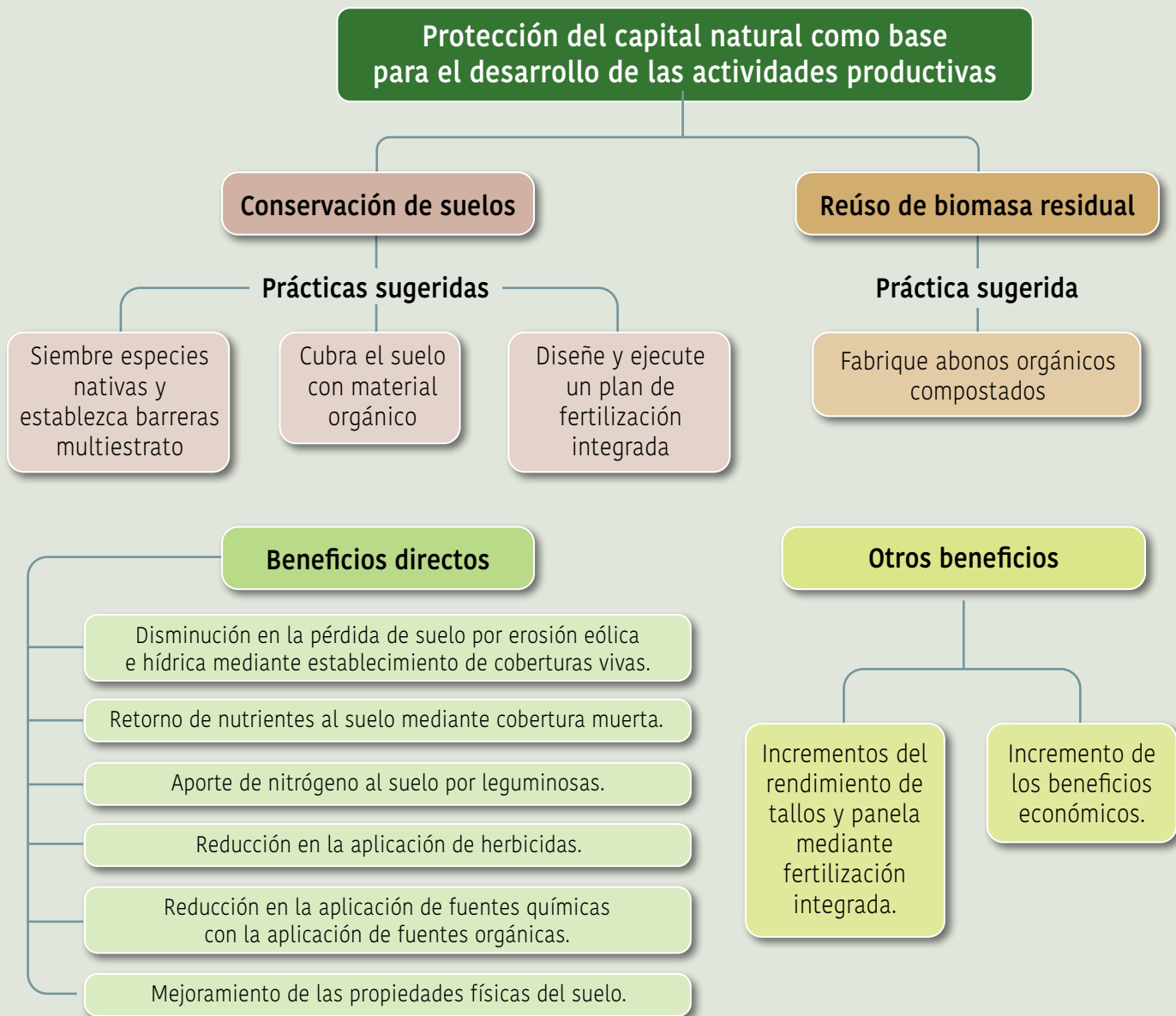


Figura 9. Recomendaciones tecnológicas y beneficios a la protección del capital natural en el sistema productivo de caña de azúcar para la producción de panela.

Fuente: Elaboración propia



Lograr más con menos: productividad y competitividad en el mercado

Maximice la eficiencia en el uso de recursos



Renueve los cultivares

Produzca y seleccione el material de siembra

Haga seguimiento y manejo agronómico

Resiembre y entresiembre

Corte la caña de azúcar por parejo o entresaque

Transporte la caña por cable autopropulsado

Produzca y maneje mucílagos vegetales

Use biomasa residual en el proceso panelero y diversifique la producción

¿Cómo contribuyen estas recomendaciones a maximizar la eficiencia en el cultivo de caña para panela?

La apuesta para maximizar la eficiencia en el uso de recursos se concreta en diversos aspectos del manejo agronómico y de la transformación de la caña de azúcar para obtener panela o productos derivados. Al respecto, el DNP (2019) ha establecido algunas premisas que podrían orientar el cumplimiento de este principio verde:

1. **Mejorar el desempeño** ambiental del sector agrícola, a través del uso sostenible de recursos como el suelo y el agua, y la aplicación responsable de agroquímicos.
2. **Mejorar la eficiencia** en el uso del agua en los sectores productivos.

Precisamente, con el propósito de fomentar su implementación, la Política de Crecimiento Verde cuenta con distintos incentivos, cuatro de los cuales se describen a continuación:

1. **Estímulos financieros** para integrantes de las cadenas productivas, en especial para los productores agropecuarios y agroindustriales, siempre que se promueva el manejo eficiente de los recursos hídricos, la fertilización integrada sostenible y el uso de fertilizantes orgánicos, así como el manejo de plagas y enfermedades (Conpes 3934).





2. **Financiación de proyectos** agropecuarios sostenibles (línea de acción 16, Conpes 3934) por medio de la creación de la Línea de Crédito de Fomento Agropecuario (redescuento) para proyectos o actividades productivas sostenibles agropecuarias a través de entidades como el Fondo para el Financiamiento del Sector Agropecuario (Finagro), con dos modalidades: créditos y subsidios para la adquisición de equipos destinados al manejo sostenible del agua, entre otros.
3. **Incentivo a la Capitalización Rural (ICR)** para proyectos de inversión sostenibles agropecuarios y el Incentivo al Seguro Agropecuario con énfasis en pequeños productores con proyectos o actividades sostenibles (Conpes 3934).
4. **Línea de crédito** para financiar proyectos de recuperación en zonas con deforestación, como la Línea Especial de Crédito (LEC) “Sostenibilidad agropecuaria y negocios verdes”, a la cual podrán acceder pequeños, medianos y grandes productores que quieran invertir en el mejoramiento y la sostenibilidad de los sistemas de producción agropecuarios, piscícolas, apícolas, avícolas, forestales, acuícolas, de zootecnia y pesqueras (MADR, 2021).

Además, en el marco de la Política de Crecimiento Verde, el sistema productivo de caña para la producción de panela puede prestar los siguientes **servicios ecosistémicos** (WWF, 2018):

1. **Servicios culturales:** son aquellas riquezas inmateriales que nos sirven para construir nuestra vida social. Algunos ejemplos son la recreación y el ecoturismo.



Glosario

Servicios ecosistémicos:

Beneficios directos e indirectos que la humanidad recibe de la biodiversidad y que son el resultado de la interacción entre los diferentes componentes, estructuras y funciones que constituyen la biodiversidad (CONPES, 3934).





2. **Servicios de regulación:** son aquellos bienes producidos por la regulación de los ecosistemas. Entre ellos se puede encontrar la regulación de la calidad del aire o la fertilidad de los suelos.
3. **Servicios de aprovisionamiento:** son los productos consumibles. Entre los más importantes están el agua y los alimentos.
4. **Servicios de sostenimiento:** son los bienes necesarios para que los otros servicios sigan existiendo. Entre ellos, el ciclo de los nutrientes o la formación de suelos”.

En ese contexto, a continuación se describen algunas tecnologías y prácticas de la producción de caña y panela que podrían contribuir a maximizar la eficiencia en el uso de los recursos y con los cuales se podría postular a estos estímulos.



Foto: Ximena López-González



Renueve los cultivares

La mayoría de cultivares de caña empleados en la industria de la panela en Colombia fueron introducidos hace varias décadas (Ramírez-Durán *et al.*, 2014; Ramírez-Durán *et al.*, 2019), de modo que el tiempo transcurrido genera el desgaste genético de los cultivares y, por lo tanto, puede traer consecuencias negativas (Ramírez-Durán *et al.*, 2019):

- **Limita** la producción de caña y su agroindustria de la panela debido al desgaste genético de los cultivares.
- **Reduce** los rendimientos de caña y panela.
- **Aumenta** la vulnerabilidad del sistema productivo al ataque de plagas y enfermedades de importancia económica y emergentes en escenarios de variabilidad y cambio climático.
- **Disminuye** la calidad de la panela.

Para solucionar estos aspectos negativos y maximizar la eficiencia del sistema productivo, AGROSAVIA dinamiza y desarrolla una serie de estrategias de investigación y transferencia tecnológica, con las cuales busca soluciones en las diferentes áreas del conocimiento relacionadas con la producción y transformación de la caña de azúcar para panela en Colombia. Una de estas es la Línea de **Fitomejoramiento**, que se realiza en cooperación técnico-científica con el Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia (Cenicaña) y que ha permitido la selección de nuevos cultivares que puedan responder a estas limitantes.



Glosario

Cultivar: Nombre genérico que se utiliza para referirse indistintamente a variedades, líneas, híbridos y clones que se estén utilizando como materiales comerciales para siembra (ICA, 2015b).

Fitomejoramiento: Creación de materiales vegetales resistentes a condiciones extremas del clima (altas temperaturas, sequía e inundaciones) y problemas fitosanitarios.



En tal sentido, como parte de esta línea se hacen introducciones periódicas de las variedades Cenicaña Colombia (CC) para evaluar su adaptación y productividad agronómica y agroindustrial en las regiones paneleras del país con condiciones edafoclimáticas contrastantes. Uno de los principales resultados ha sido documentado por Ramírez-Durán *et al.* (2014), quienes durante el período 2007-2012 lograron caracterizar los siguientes cultivares con potencial para la producción de panela: CC 84-75, CC 86-45, CC 85-57, CC 85-92, CC 93-7510, CC 93-714, CC 93-7711, CC 99-1405 y CC 91-1555.

De estos, los cultivares CC 93-7711 y CC 93-7510 son los más destacados por superar a cultivares adoptados en las regiones de la hoya del río Suárez (Boyacá y Santander) (Instituto Colombiano Agropecuario [ICA], 2015a), en las zonas naturales de la montaña antioqueña y santandereana, y para los departamentos de Cundinamarca y Tolima (ICA, 2017).

Recientemente, Barona-Rodríguez *et al.* (2021) reportaron para el departamento de Santander los resultados de una nueva introducción de variedades: CC 11-600, CC 10-450, CC 99-2461, CC 00-3257, CC 91-1606 y CC 00-3771. En específico, obtuvieron valores destacados en cuanto a la producción de caña (entre 95,2 y 146,38 t/ha⁻¹) y panela (valores hasta de 16,93 y 16,33 t/ha⁻¹), lo cual amplía las opciones varietales para enfrentar los retos climáticos, fitosanitarios y productivos de este sistema productivo.



Información complementaria

Variedades de caña de azúcar empleadas para la agroindustria panelera de Colombia.



Comportamiento agroindustrial de diez variedades de caña de azúcar para producción de panela en Santander, Colombia.



CC 93-7711 Pierna Bella: cultivar de caña de azúcar para producción de panela para las zonas naturales de la hoya del río Suárez, Montaña Antioqueña, Montaña Santandereana y departamentos de Cundinamarca y Tolima.





Produzca y seleccione el material de siembra

Disponer de material de siembra o semilla de calidad (ICA, 2015) se ha convertido en una prioridad para el subsector panelero (Murcia-Pardo & Ramírez-Durán, 2017; Ramírez-Durán *et al.*, 2019), puesto que de esta depende gran parte del éxito del cultivo y el procesamiento de la panela (García *et al.*, 2007; López, 2015; Osorio, 2007). En esta etapa es importante tener en cuenta y comprender los siguientes términos para tener una mayor comprensión de las recomendaciones que se proponen:

- **Semilla básica de caña:** tallos o trozos provenientes de plantas de lotes comerciales o de semilleros de los propios cultivadores, sembrados con variedades mejoradas y manejadas agronómicamente de manera adecuada, con un buen estado fitosanitario y pureza varietal comprobada. También son semilla básica las estacas provenientes de semilleros que hayan sido mejorados por una institución de investigación (ICA, 1984, 2015a).
- **Semilla sana:** semilla de caña libre de plagas (i.e. *Diatraea* spp. y *Blastobasis graminea*) y enfermedades causadas por hongos (*Rhizoctonia* sp.), bacterias (escaldadura de la hoja y raquitismo de la **soca**), virus y nemátodos, entre otras (Ramírez-Durán *et al.*, 2019).
- **Semilla seleccionada:** semillas de especies que no están en proceso de certificación y sobre las cuales el ICA ejerce control durante su comercialización, a fin de verificar que reúnan los factores de calidad establecidos en la legislación vigente (ICA, 1984, 2015b).



Glosario

Primera soca: Lote o parcela con caña de azúcar en su segundo ciclo de producción de semilla o de caña para panela (Ramírez-Durán *et al.*, 2019).



Información complementaria

Producción y manejo de semilla de caña panelera



Reconversión del sistema regional de producción de semilla de caña para la agroindustria panelera en Boyacá y Santander



Manual técnico para la producción de plántulas de caña de azúcar para panela a partir de yemas individuales bajo las condiciones agroecológicas del municipio de Barbosa (Santander).





- **Semillero básico:** sembrado con semilla básica (ICA, 1984, 2015b).
- **Semillero comercial:** aquel que se siembra con semilla procedente de un semillero semicomercial, y a partir del cual se realizará la distribución de la semilla para siembras comerciales. La semilla procedente del semillero comercial se denominará *semilla seleccionada* (ICA, 1984, 2015a).
- **Semillero semicomercial:** aquel que se siembra con semilla básica o con semilla de la soca de otro semillero semicomercial (ICA, 1984, 2015a).

Con estos conceptos claros, a continuación se describen dos aspectos importantes para que produzca semillas seleccionadas de calidad: siembre semillas seleccionadas y establezca semilleros en el terreno.

Siembre semillas seleccionadas

Se recomienda sembrar *semillas seleccionadas*, es decir, material propagativo que garantiza los criterios de calidad genética, sanitaria, física y fisiológica sugeridos por el ICA en la Resolución ICA N.º 1969 de 1984 para esta especie productiva (ICA, 1984), y en general para la producción, comercialización y distribución de semilla en el país en la Resolución N.º 3168 de 2015 (ICA, 2015b).

Por lo general, estas semillas se obtienen durante el corte o cosecha de los cultivos comerciales (García *et al.*, 2007) —lo cual es viable siempre que su multiplicación garantice buenas prácticas y cuidados básicos para contar con semillas sanas—



Información complementaria

Producción de semilla de caña de azúcar en categoría seleccionada para la producción de panela – plantas germinadas.



Sistema de producción de semillas de caña de azúcar para panela mediante la obtención de plantas germinadas [Youtube].



Allometric response of two sugarcane cultivars for panela to foliar fertilization in the nursery





y son cultivadas preferiblemente en semilleros básicos o semicomerciales (ICA, 1984; Ramírez-Durán *et al.*, 2019). Además, se deben obtener a partir de plantas madre con las siguientes características sobresalientes:

- **Productivas:** alta producción de toneladas de caña por hectárea (TCH) y toneladas de panela por hectárea (TPH).
- **Adaptativas:** buen desarrollo en condiciones edafoclimáticas específicas y tolerancia a limitantes fitosanitarias.
- **Sanitarias:** libre de enfermedades, principalmente de tipo bacteriano como el raquitismo de la soca (RSD, por su sigla en inglés) producida por *Leifsonia xyli*, y la escaldadura de la hoja (LSD, por su sigla en inglés) causada por *Xanthomonas albilineans*.

Específicamente, estas semillas se obtienen mediante la propagación asexual de **yemas** individuales y la obtención de *plantas germinadas* (figura 10) (Murcia-Pardo & Ramírez-Durán, 2015; Ramírez-Durán *et al.*, 2019), con *trozos de tallo* o “**cangre**”, con *cogollo* y/o con *yemas embolsadas* (Murcia-Pardo & Ramírez-Durán, 2015; Forero & Sánchez, 2016; Rodríguez-Borray *et al.*, 2020).

“ Para producir semillas de calidad, considere sembrar material seleccionado en semilleros de propagación ”



Glosario

Yema: Tejido meristemático apical o axilar de la caña de azúcar con potencial de propagación, que luego de su germinación tiene la capacidad de dar origen a una planta completa (Ramírez-Durán *et al.*, 2014).

Cangre: Material vegetal de propagación asexual (trozos de caña) empleado para la siembra o multiplicación (Ramírez-Durán *et al.*, 2019).



Figura 10. Semillas de caña de azúcar para panela. a. Yemas de caña extraídas para la producción de semilla seleccionada; b. Patio de crecimiento de las yemas germinadas que dan origen a plantas germinadas (modelo de producción ubicado en la sede Cimpa de AGROSAVIA, Barbosa, Santander); c. Trozos de tallo o “cangre”; d. Cogollo; e. Yemas embolsadas producidas en finca de productor.

Establezca semilleros en el terreno

Generalmente se recomienda destinar entre 10 % y 20 % del área de producción de caña para establecer semilleros (Murcia-Pardo & Ramírez-Durán, 2015; Osorio, 2007; Ramírez-Durán *et al.*, 2019) (figura 11). Esto tiene el propósito de garantizar el suministro de material de siembra acorde con las necesidades de la unidad productiva, es decir, renovación del cultivo, siembra de nuevas variedades o en espacios improductivos o *calvas*.



Fotos: Banco de fotos AGROSAVIA.

Figura 11. Semillero de caña de azúcar para panela. a. Semillero establecido con siembra a chorrillo. b. Cosecha o corte de semilla en semillero básico.



Para el montaje o siembra de los semilleros se sugiere considerar el tipo de semillero, la pendiente del terreno y los sustratos para las yemas o esquejes embolsados, así como hacerles seguimiento y manejo agronómico.

Elija el tipo de semillero

Es posible establecer semilleros básicos, semicomerciales y comerciales (Buenaventura, 1990; ICA, 1984; Ramírez-Durán *et al.*, 2019), de acuerdo con las necesidades de uso de la semilla (establecimiento de semilleros con material vegetal sano, ampliación de áreas de cultivos comerciales, siembra de nuevas variedades o fines comerciales, etc.) y el volumen o la cantidad requerida.

Asimismo, estos semilleros pueden presentar diferencias en cuanto al origen de la semilla (plantas germinadas o trozos de caña obtenidas durante la cosecha) y área, esta última con una relación de hasta 1:10:100, respectivamente para cada tipo de semillero (Buenaventura, 1990).

Defina la densidad de siembra de acuerdo con la pendiente del terreno

En pendientes altas (entre 25 % y 50 %) (figura 12), la densidad de siembra puede ser de 8.333 plantas por hectárea (planta/ha), sembradas a una distancia de 1 m entre plantas y 1,2 m de distancia entre surcos (Galvis *et al.*, 2016). Cuando se realiza siembra con plantas germinadas, las distancias sugeridas son de 0,6 m x 1,20 m, con lo cual se obtiene una densidad de siembra de 13.500 plantas (Ramírez-Durán *et al.*, 2019).

“ Los semilleros pueden presentar diferencias en cuanto al origen de la semilla (plantas germinadas o trozos de caña obtenidas durante la cosecha) y área ”



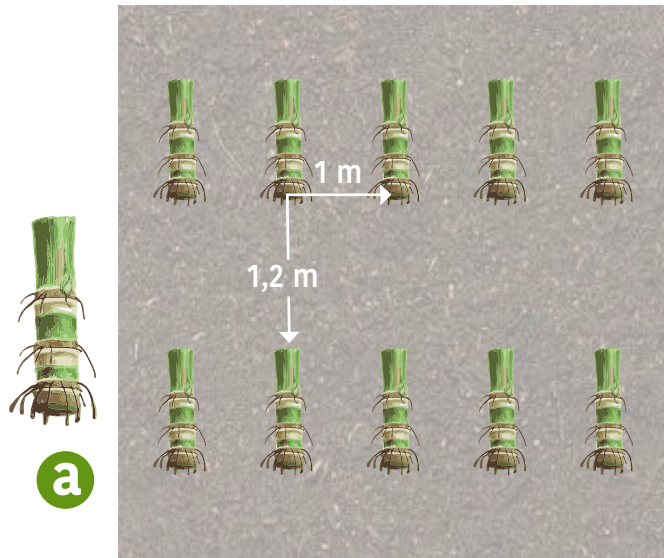
Información complementaria

Producción y manejo de semilla de caña panelera





Hasta 8.333 plantas/ha



13.500 plantas/ha

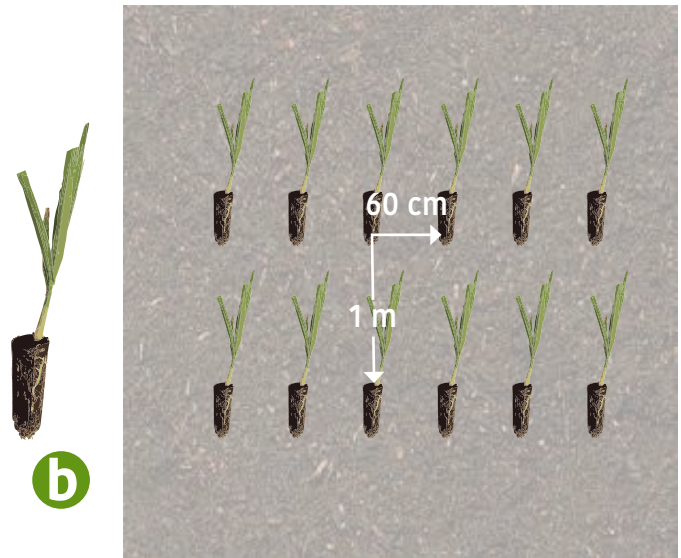


Foto: Banco de fotos AGROSAVIA.



Figura 12. Densidad de siembra de referencia en caña de azúcar para panela. a. Una de las distancias de siembra empleadas en la siembra de trozos de tallo; b. Distancia de siembra sugerida para el establecimiento de semilleros con plantas germinadas; c. Semillero de caña establecido en pendientes características de zonas montañosas o de ladera.



Asimismo, se debe tener en cuenta que existen diferentes tipos y distancias de siembra dependiendo de los cultivares, el modo de producción y las **condiciones edafoclimáticas** (López, 2015; Forero & Sánchez, 2016; Rodríguez-Borray *et al.*, 2020).

Elija los sustratos para yemas o esquejes embolsados

Como sustrato puede emplear suelo y materiales orgánicos (residuos de caña) obtenidos en la propia finca (figura 13), con lo cual asegura la adaptación del material que será trasplantado a campo sin incrementar los costos de producción (Osorio, 2007; Galvis *et al.*, 2016; García *et al.*, 2007; Maldonado *et al.*, 2006).

Tenga en cuenta que debe sembrar yemas sanas y que el esqueje debe asegurar por lo menos una yema viable por cada bolsa con sustrato (Murcia-Pardo & Ramírez-Durán, 2014; Galvis *et al.*, 2016).



Glosario

Condiciones edafoclimáticas:

Factores y variables del suelo (*edáficas*: características físicas, químicas y biológicas) y del clima (*climáticas*: precipitación, temperatura, humedad, etc.) que se tienen en cuenta para establecer, seguir y manejar especies vegetales de interés agrícola.





Figura 13. Sustratos con contenido de ceniza de caña obtenida de la combustión del bagazo.
a. Yemas individuales embolsadas con mezcla de sustrato de tierra y ceniza;
b. Mezcla de sustratos de arenilla de río y ceniza estandarizados en la germinación de yemas individuales de caña;
c. Plantas germinadas en sustrato que incluye residuos o ceniza de caña.



Fotos: Leidy Y. Deantonio-Flrido



Haga seguimiento y manejo agronómico

Una vez se han establecido los semilleros, es necesario que realice las siguientes actividades:

- **Resiembras** después de verificar el prendimiento de la semilla o corte y a lo largo del ciclo productivo, dependiendo del progreso del crecimiento y desarrollo de las plantas.
- **Manejo de arvenses y fertilización integrada** a los dos y cuatro meses (Ramírez-Durán *et al.*, 2019; Barona-Rodríguez *et al.*, 2021).
- **Manejo integrado de plagas** orientado, principalmente, en dos aspectos:
 - *Liberar parasitoides naturales*, dado que los insectos plaga de importancia económica completan su ciclo de vida y alimentación dentro de los tallos, lo cual impide que otros mecanismos de control (por ejemplo el químico) sean eficaces (Álvarez & Farías, 2012; Forero & Sánchez, 2016; Rodríguez-Borray *et al.*, 2020; Barreto *et al.*, 2020).
 - *Promocionar el uso de los parasitoides nativos* mediante la conservación de **plantas hospederas** (Barreto *et al.*, 2020).

El tiempo requerido para que las yemas alcancen gran viabilidad en los tallos es de aproximadamente 7 a 12 meses, dependiendo de la región y las condiciones edafoclimáticas (Ramírez-Durán *et al.*, 2019). Al cabo de este período es posible cortar la caña para emplearla en la propagación y multiplicación de semilla seleccionada dirigida a diferentes usos: sistema de producción de plantas germinadas,



Glosario

Arvenses: Plantas acompañantes de los cultivos de interés que representan competencia en la agricultura y/o los ecosistemas naturales. También son conocidas como malezas, malas hierbas, hierbas malas, plantas arvenses, monte o plantas indeseables (USDA, 2021).

Plantas hospederas: Aquellas que proporcionan refugio, hábitat o son fuente de alimento (planta nutricia) como parte del ciclo de vida de otro organismo.



establecimiento de nuevos semilleros o, directamente, en la siembra de cultivos comerciales (Murcia-Pardo & Ramírez-Durán, 2014; Murcia-Pardo & Ramírez-Durán, 2017; Ramírez-Durán *et al.*, 2019).

A continuación, se resumen las etapas de la producción de semilla seleccionada de caña de azúcar para la producción de panela que hace AGROSAVIA con un modelo de producción centrado en la calidad integral (figura 14):



Información complementaria

Implementación del sistema de producción de plantas de caña de azúcar para el establecimiento de semilleros básicos y comerciales.



Sistema de producción de semillas de caña de azúcar para panela mediante la obtención de plantas germinadas.



Foto: Leidy Yibeth Deantonio Florido





Semillero

- Establecimiento de semillero básico.
- Selección de material vegetal entre 8 y 10 meses de edad.



Germinación

- Corte de caña y extracción mecánica de 8 a 10 yemas por tallo.
- Imbibición de las yemas.
- Tratamiento térmico y manejo de enfermedades bacterianas.
- Tratamiento químico de yemas.
- Siembra de yemas de caña en canastillas.



Crecimiento

- Trasplante de plántulas a bandejas de crecimiento.
- Manejo fitosanitario de las plantas.
- Manejo agronómico: *riego, fertilización nitrogenada y podas.*



Plántulas para siembra en campo

- Pasados 90 a 120 días, las plántulas pueden ser establecidas en campo o comercializadas.

Figura 14. Etapas para la producción de material de siembra de caña de azúcar para la producción de panela implementado por AGROSAVIA.

Fuente: Adaptado de AGROSAVIA (2021)

Resiembra y entresiembra

En función de la adaptación y prendimiento del material de siembra a las condiciones propias de los lotes, es necesario que realice *resiembra* luego de que haya establecido los semilleros o cultivos comerciales de caña. Esta práctica consiste en rehabilitar los espacios del suelo o *calvas* donde las cepas y retoños se han perdido por muerte o deterioro (Insuasty *et al.*, 2000).

No obstante, es habitual que en zonas con sistema de corte por entresaque también se requiera cubrir los espacios vacíos mediante *entresiembras*. Como indican Insuasty *et al.* (2000), para recuperar estos espacios puede emplear material vegetal obtenido con los métodos que se describen en la figura 15:

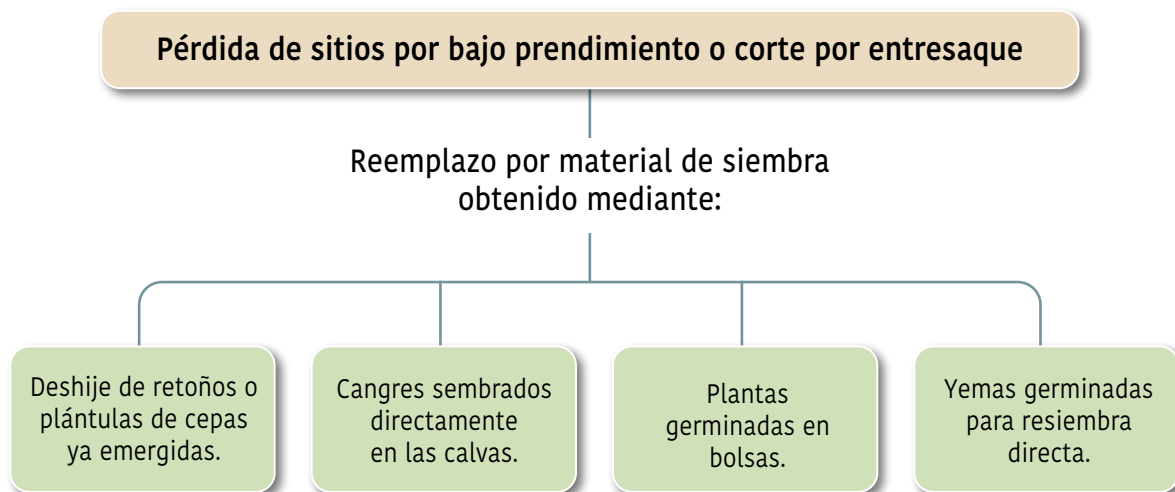


Figura 15. Materiales de siembra empleados para resiembra y entresiembra.

Fuente: Elaboración propia



Corte la caña de azúcar por parejo o entresaque

Los sistemas de corte varían de acuerdo con factores como el nivel tecnológico de los sistemas productivos y también de la capacidad instalada para procesar o transformar la caña cosechada (García *et al.*, 2007; Osorio, 2007; Rodríguez-Borray *et al.*, 2020). **En general, al momento del corte se debe tener en cuenta que la caña presente un índice de madurez de entre 0,95 y 1 (caña madura), ya que valores inferiores a 0,95 indican caña inmadura y superiores a 1 revelan caña sobremadura (Álvarez-Zambrano & Farías, 2012).** Específicamente, para medir el índice de madurez se emplea un refractómetro, con el cual se calcula la relación entre grados brix del tercio superior e inferior del tallo de la planta.



Glosario

Entresaque: Sistema de corte en el cual solo se realiza la cosecha de tallos maduros, dejando en pie aquellos considerados inmaduros. También conocido como desguíe (Manrique *et al.*, 2010).

Corte por parejo

Consiste en cortar y cosechar todos los tallos de plantas establecidas en la misma época, los cuales presentan crecimiento y maduración desuniformes (figura 16). Por lo común, este corte se lleva a cabo en cultivos tecnificados y/o comerciales, donde la siembra se realiza a chorrillo (García *et al.*, 2007; Rodríguez-Borray *et al.*, 2020).

Los principales beneficios asociados a este sistema de corte están relacionados con la homogeneidad del cultivo, lo que permite planificar la fertilización, manejo de insectos plaga y enfermedades, y cosecha en períodos definidos del ciclo productivo. Asimismo, en función del nivel de tecnificación para

la transformación de la caña en panela, este sistema favorece la cosecha, acopio y elaboración de la panela empleando la máxima capacidad y asegurando la disponibilidad de materia prima.



Fotos: Ximena López Gonzáles

Figura 16. Corte por parejo de caña de azúcar para panela.

Corte por entresaque

A diferencia del corte por parejo, en el corte por entresaque solo se cortan los tallos maduros y se dejan en la planta los inmaduros para que continúen su desarrollo hasta que alcancen su punto óptimo de cosecha. En este corte, que es el más utilizado por los pequeños productores, se debe registrar la cantidad de tallos cosechados, el total de tallos que quedan en el lote y la capacidad que tienen las plantas para producir nuevos tallos (García, 2004) (figura 17).



Figura 17. Corte por entresaque de caña de azúcar para panela. a. Corte por entresaque característico de regiones productoras en Cundinamarca; b. Caña cortada con este tipo de corte.



Información complementaria

Manejo agronómico del cultivo de la caña de azúcar para panela en Antioquia.



Modelo productivo: manejo agronómico de la caña de azúcar y producción agroindustrial de panela en la hoya de río Suárez.



Modelo productivo de la caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) para la producción de panela en Cundinamarca



Este corte presenta beneficios en relación con la sostenibilidad de los recursos naturales, como suelo, agua y aire, puesto que con menor frecuencia es disturbado el ambiente donde se cultiva la caña. Además, facilita un flujo de caja, dado que la caña se cosecha en hasta dos épocas del año.

Transporte la caña por cable autopropulsado

Como se mencionó, las zonas paneleras de Colombia presentan pendientes superiores a 12 %, de modo que el transporte por tracción animal o mulares es el más utilizado durante la cosecha y acopio de la caña (figura 18).

No obstante, esto presenta desventajas operativas, ambientales y productivas que pueden ser superadas mediante la instalación y uso del *sistema de transporte de caña por cable autopropulsado* desarrollado por AGROSAVIA.



Foto: Banco de fotos AGROSAVIA.



Foto: Ximena López Gonzáles

Figura 18. Transporte tradicional de caña con animales de tracción o mulares (a y b).



Esta tecnología está compuesta por estos elementos:

1. **Motor, reductor y freno**, los cuales permiten y controlan el movimiento.
2. **Línea de estaciones** de reenvío del producto.
3. **Torres intermedias** que soportan el cable (monocable).
4. **Pinzas para enganchar** los paquetes de caña.
5. **Un sistema de control** (figura 19)
(AGROSAVIA, 2021a).



Figura 19. Sistema de transporte de caña por cable autopropulsado desarrollado por AGROSAVIA. a. Desplazamiento de los paquetes de caña por el cable autopropulsado; b. Motor eléctrico de 15 HP y polea del sistema; c. Punto de cargue de paquetes de caña (aproximadamente 50 kg).



Fotos tomadas del video: Sistema de transporte de caña por cable. AGROSAVIA.



Al respecto cabe anotar que este sistema para transportar la caña se alinea con la Política de Crecimiento Verde, pues la implementación de tecnologías alternativas a la tracción animal “incentiva un mejor aprovechamiento y uso del suelo y un desempeño sostenible del sector agropecuario” (Conpes 3934).

Esta tecnología contribuye a la conservación de los suelos y, en función de las áreas y nivel tecnológico de estos sistemas productivos, también al aumento en su rentabilidad, lo cual podría generar ingresos adicionales para los productores agropecuarios que permiten reducir la pobreza.

Produzca y maneje mucílagos vegetales

Para limpiar los jugos del proceso panelero se emplean mucílagos o sustancias viscosas, que en su mayoría son obtenidos de la corteza de especies arbóreas. En cada región panelera se pueden encontrar diferentes especies, dependiendo de las condiciones agroecológicas y de manejo del cultivo de la caña (Álvarez & Farias, 2012; García *et al.*, 2007; López, 2015; Rodríguez-Borray *et al.*, 2020).

Las principales especies que se emplean con este propósito son el balso (*Heliocarpus americanus* L.), cadillo blanco (*Triumfetta mollissima* L.), cadillo negro (*Triumfetta lappula* L.), cadillo de mula (*Pavonia spinifex* C.) y guásimo (*Guazuma ulmifolia* L.) (López, 2015; Prada 2002). A continuación, la figura 20 presenta una ilustración de cada una de estas plantas para facilitar su reconocimiento.



Información complementaria

Sistema de transporte de caña por cable



Conservación, siembra, manejo y utilización de las especies aglutinantes más importantes en la agroindustria panelera



Especies vegetales utilizadas en la clarificación de los jugos de caña para la elaboración de panela



Tecnologías de transporte por cable aéreo para condiciones de ladera





Balso



Cadillo blanco



Cadillo negro



Cadillo de mula



Guásimo

Figura 20. Especies vegetales empleadas en la clarificación de jugos de caña.

Fuente: Ilustración basada en López-Lopera et al. (2020)



La preparación de los mucílago se debe realizar cada seis horas para evitar su deterioro y/o fermentación, limpiando el recipiente donde se prepara cada 12 horas con una solución de cal (López *et al.*, 2005). **Siga los siguientes pasos para preparar y aplicar los mucílago** (figura 21):



Figura 21. Proceso para fabricar y utilizar mucílago para la elaboración de panela.

Fuente: Adaptado de López *et al.* (2005)



Use biomasa residual en el proceso panelero y diversifique la producción

Mediante la Política de Crecimiento Verde se resalta la importancia de emplear de manera eficiente los recursos disponibles en la producción agrícola o de alimentos; en tal sentido, la valorización de los residuos o coproductos, así como **la diversificación de la producción resultan necesarios para alcanzar la sostenibilidad y garantizar mayor rentabilidad de la actividad agrícola en los territorios.**

Adicional a esto, la producción de caña de azúcar representa ventajas ambientales cuando se compara con la producción de biomasa neta anual y diaria de cereales, raíces y/o tubérculos (Odum, 2000), como se expone en la tabla 3.

Tabla 3. Promedio mundial de producción neta de biomasa determinada por el método de cosecha (g/m²) en siete sistemas productivos

Sistema productivo	Producción neta de biomasa (g/m ²)	
	Anual	Diaria
Trigo	344	0,90
Avena	359	0,98
Papa	385	1,10
Maíz	412	1,13
Arroz	497	1,36
Remolacha	756	2,10
Caña de azúcar	1.725	4,73

Fuente: Odum (2000)



Esta característica tiene implicaciones directas en la captura de carbono, estrategia de mitigación al cambio climático ampliamente difundida e implementada en otras naciones. Esto quiere decir que el aporte de **biomasa de la caña de azúcar** al sistema es contrastante y brinda la posibilidad de tener alta rentabilidad, dado que las toneladas producidas resultan competitivas, aún más si se emplean cultivares adaptados con un adecuado manejo agronómico. Asimismo, de esta manera se cuenta con una importante contribución de biomasa residual, que para la agroindustria panelera promueve el uso de hornillas basadas en la combustión del bagazo, el compostaje de los residuos para obtener biofertilizantes (sólidos y líquidos), el uso de coproductos como la melaza para suplementar la alimentación animal mediante la elaboración de bloques multinutricionales, entre otros.



Glosario

Biomasa residual de caña de azúcar para panela:

Material orgánico que se genera en el desarrollo de alguna actividad y que se puede aprovechar o transformar en otros productos (MADS, 2021).

Destine el bagazo de la caña para la combustión de hornillas ecoeficientes tipo Cimpa

Además de su aprovechamiento en la producción de abonos orgánicos, luego de que se haya secado y/o directamente después de la extracción de los jugos, puede emplear el bagazo de la caña en la combustión de las hornillas (AGROSAVIA, 2017; 2021b). En cuanto a las tecnologías relacionadas, se destacan las hornillas ecoeficientes tipo Cimpa y el modelo de evaporación híbrido para la producción de panela desarrollados por AGROSAVIA (2020; 2021b) (figura 22). Se trata de una unidad productora de panela (trapiche) que transforma la energía del bagazo en energía calórica y la transfiere a través de las pailas



Información complementaria

Hornillas paneleras ecoeficientes tipo CIMPA



Modelo de evaporación híbrido para la producción de panela





al jugo extraído de los tallos de caña de azúcar en el molino y a la cachaza producida en la clarificación para convertirlos en miel, panela y melote, respectivamente (AGROSAVIA, 2021b).

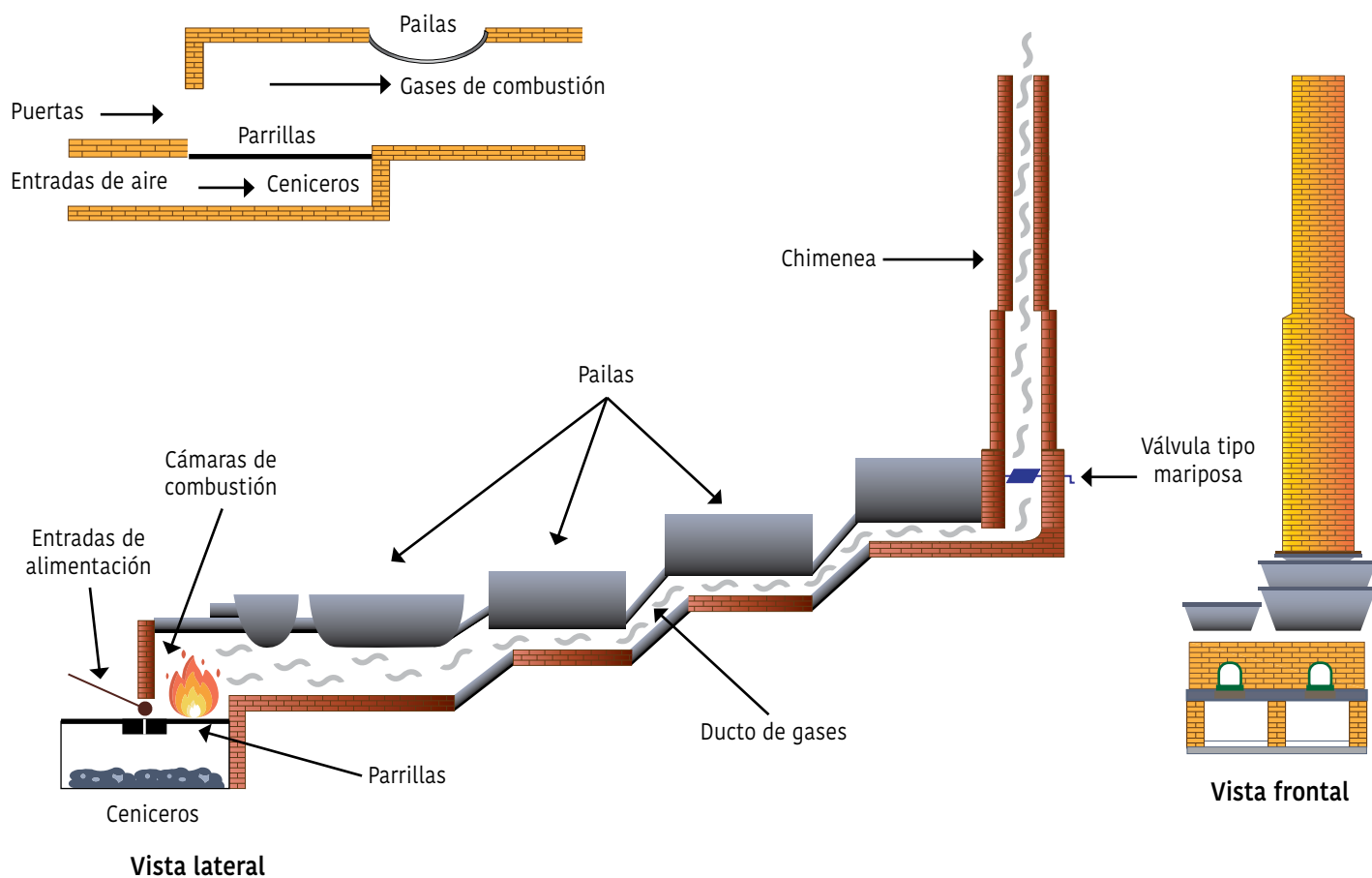


Figura 22. Hornilla ecoeficiente tipo Cimpa desarrollada por AGROSAVIA. Diagrama de la vista lateral y frontal de una hornilla con cámara de combustión plana.

Fuente: Elaboración propia con base en AGROSAVIA (2023).



Convierta el cogollo, la cachaza y el melote en alimentos para sus animales

Como parte de la recomendación general de maximizar la eficiencia en el uso de los recursos, puede utilizar el cogollo, la cachaza y el melote como biomasa residual en la fabricación de suplementos para la alimentación de animales.

- **El cogollo** corresponde a las hojas y a una sección del tallo superior de la planta, el cual se emplea para la alimentación bovina y equina como forraje fresco y ensilaje (Ángel, 2012; Lagos-Burbano & Castro-Rincón, 2019).
- **La cachaza** hace referencia a una sustancia compuesta por materia seca, azúcares, ceniza y proteína que se produce en la superficie de los jugos en la fase de limpieza. Esta se emplea para la alimentación de equinos y porcinos (Ángel, 2012).
- **El melote** se obtiene al deshidratar la cachaza, tiene una consistencia espesa, densa. Se emplea en la alimentación de equinos, porcinos y aves (Ángel, 2012).

A continuación, la tabla 4 describe la preparación de estos suplementos para la alimentación animal.



Glosario

Cachaza: Material oscuro o residuo que se genera durante la clarificación del jugo de caña, el cual se separa por decantación en dos clarificadores (Osorio, 2007). Está constituido por la mezcla de fibra, coloides coagulados, cera, sustancias albuminoides, fosfatos de calcio y partículas de suelo (Samuels, 1979).

Tabla 4. Preparación de suplementos para la alimentación animal empleando biomasa residual producida en el sistema productivo de caña



Ensilaje con caña o cogollo	Bloque	Melote
1. Pique y mezcle 10 kg de material vegetal en una caneca plástica con 200 litros de agua y 2 kg de sal mineralizada. 2. Deposite capas de 10 cm del material vegetal compactado con la mano en una bolsa plástica. 3. Repita cuatro veces este procedimiento hasta llenar 80 cm de alto en la bolsa. 4. Extraiga el aire cuidadosamente, amarre la bolsa y almacene durante un período mínimo de seis semanas.	Para elaborar 2 bloques cada uno de 15 kg, considere las siguientes cantidades y pasos: 1. Mezcle en un recipiente melaza (15 kg) y urea (0,5 kg). 2. Agregue gallinaza (3 kg), cal (6 kg) y sal mineralizada (2,1 kg), mezclando hasta obtener una consistencia homogénea. 3. Agregue bagacillo (6 kg) y azufre (0,9 kg) hasta formar una pasta consistente. 4. Deposite la mezcla en un molde o recipiente forrado en su interior con un plástico. 5. Compacte la mezcla firmemente hasta que llene el molde y complete el volumen de la bolsa. 6. Deje secar entre 5 y 10 días el suplemento antes de suministrarlo a los animales.	1. Deposite la cachaza en un recipiente y cocine al fuego. 2. Aplique cebo o manteca vegetal cuando la cachaza empiece a secarse. 3. Espere a que la cachaza se deshidrate lo mejor posible. 4. Almacene la mezcla máximo durante un mes en recipientes plásticos en un lugar fresco, seco y sombreado.

Fuente: Adaptado de Ángel (2012)



El uso de la biomasa y la diversificación de la producción permite ampliar el portafolio de productos del gremio panelero, aumenta las oportunidades de bionegocios o negocios verdes, fomenta el estímulo y creación de empresas verdes, fortalece el Plan Nacional de Negocios Verdes, liderado por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, y permite acceder a beneficios económicos y tributarios ambientales. Adicionalmente, la obtención de este tipo de productos puede contribuir a crear el Portafolio Nacional de Bioproductos (Mundobiotec, 2020) propuesto en el Plan Nacional de Desarrollo (PND).

¿Cómo contribuyen estas recomendaciones a maximizar la eficiencia en el uso de recursos en el cultivo de caña para panela?

Estas recomendaciones para maximizar la eficiencia en el uso de los recursos en el sistema productivo de la caña de azúcar para la elaboración de panela contribuyen de la siguiente manera a la Política de Crecimiento Verde:

Las **nuevas variedades** CC 93-7711 y CC 93-7510 registran rendimientos promedio de caña de 127,4 t/ha y 126,9 t/ha, y de panela de 14,1 t/ha y 13,4 t/ha (Barona-Rodríguez *et al.*, 2019; López-Lopera *et al.*, 2019; Viveros-Valens *et al.*, 2019), los cuales se consideran superiores a los reportados por los materiales empleados tradicionalmente en las principales regiones paneleras





del país (RD 75-11, POJ 28-78, PR 61-632, CO 421, POJ 21-14, CC 84-75, CC 85-47, CC 86-45, CC-8592, entre otras) (Álvarez & Farías, 2012).

Además de la contribución en términos de productividad, ambientalmente los cultivares comerciales mencionados cuentan con **deshoje natural** (Ramírez-Durán *et al.*, 2014), lo cual aporta constantemente biomasa al suelo, favorece su protección y contribuye a la conservación y mejoramiento de la disponibilidad de agua para las raíces principales de las cepas ubicadas en la capa superficial del suelo (0 a 20 cm de profundidad). Adicional a esto, el deshoje natural también representa beneficios económicos, pues se ahorra la mano de obra para dicha labor antes de obtener los jugos de caña, y sociales, ya que les evita esta tarea molesta a los trabajadores. Por tal razón, es uno de los criterios considerados para la selección de nuevos cultivares de caña (Ramírez-Durán *et al.*, 2014).

Mediante la **producción de material de siembra con calidad** se logra reducir las pérdidas por problemas fitosanitarios, las cuales ascienden a 50 % en etapa de semillero y campo (Tarazona-Parra, 2011). Además, contribuye a maximizar la eficiencia del sistema productivo porque permite:

1. **Renovar** las plantaciones que tienen más de veinte años de haber sido establecidas.
2. **Introducir y usar** masivamente nuevas variedades con adaptación a regiones paneleras y con rendimientos sobresalientes tanto para caña como para panela.

“ El deshoje natural también representa beneficios económicos, pues se ahorra la mano de obra para dicha labor antes de obtener los jugos de caña, y sociales, ya que les evita esta tarea molesta a los trabajadores ”



3. **Producir** material de siembra con pureza varietal para el establecimiento de semilleros semi o comerciales y de cultivos comerciales.
4. **Disponer** de material para garantizar *siembras, resiembras y entresiembras*.

En este orden de ideas, **la resiembra y entresiembra** contribuyen a mantener una cobertura cercana al 100 % del terreno, en donde es posible cultivar una mayor población de tallos por hectárea, lo cual representa beneficios económicos expresados por toneladas de caña por hectárea (TCH o $t\ ha^{-1}$ de caña). Adicionalmente, esta recomendación contribuye a la *conservación del capital natural* porque protege el recurso suelo, al prevenir pérdidas potenciales de más de $200\ t\ ha^{-1}\ año^{-1}$ por efecto de eventos erosivos, tales como la exposición al viento (eólica) y la caída de gotas en la superficie (hídrica) (Tauta-Muñoz *et al.*, 2018).

A pesar de que los rendimientos de caña varían según el **sistema de corte (parejo y entresaque)**, cultivar y zona geográfica —siendo estos mayores en el *corte por parejo*—, ambos son eficientes productivamente si están acompañados de un manejo tecnológico específico para el sistema productivo (Álvarez & Farías, 2012; Rodríguez-Borray *et al.*, 2020). Adicionalmente, los dos sistemas de corte permiten proteger el suelo frente a eventos erosivos porque reducen hasta nueve veces la remoción de suelo por escorrentía superficial, en comparación con un suelo sin cobertura vegetal (Tauta-Muñoz *et al.*, 2018).





El transporte de la caña por cable autopropulsado permite reducir cerca de 30 % en la mano de obra y más del 18 % en los costos de transporte de la caña cuando se combina con tracción animal (mulares) (AGROSAVIA, 2021a). Esto permite mayor eficiencia si se considera la baja disponibilidad de trabajadores que es reportada actualmente en las zonas productoras (Rodríguez-Borray *et al.*, 2020). Además, esta tecnología contribuye a proteger el capital natural porque reduce la compactación de los suelos que genera el pisoteo de los animales empleados en la labor (AGROSAVIA, 2021a) y disminuye la contaminación ambiental e, indirectamente, las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI).

La limpieza de los jugos mediante mucílago vegetales cobra gran relevancia debido a la eliminación total del uso de sustancias químicas (sales disódicas a base de azufre) que incrementan los costos de producción y tienen efectos tóxicos para la salud humana, especialmente en la población infantil (Osorio, 2007). Además, aporta a la sostenibilidad mediante la implementación de técnicas fundamentadas en **química verde**, la cual busca el diseño de productos y procesos que minimicen la generación de sustancias peligrosas y maximicen la eficiencia en la utilización de recursos materiales y energéticos (EPA, por su sigla en inglés de Environmental Protection Agency).

No obstante, para evitar el agotamiento de las especies vegetales en la limpieza de los jugos, se deben aplicar algunas tecnologías que incluyan su propagación, siembra, manejo de insectos plagas y enfermedades, poscosecha y su uso en el procesamiento de la panela (Osorio, 2007). Esta práctica se



Glosario

Química verde: Es la química aplicada basada en la sostenibilidad en pos de prevenir la contaminación e implica la utilización de principios para evitar la generación de residuos en lugar de hacerles un tratamiento posterior (Pérez *et al.* 2013).



alinea con la Política de Crecimiento Verde porque promueve la generación de bioinsumos y diversifica las especies cultivadas en el sistema productivo.

El reúso de esta biomasa residual en la combustión de las hornillas ecoeficientes tipo Cimpa contribuye a potenciar la eficiencia energética (térmica) de estos dispositivos hasta 63 %, lo cual se traduce en incrementos cercanos al 19,7 % en la producción con menor consumo de combustible (AGROSAVIA, 2021b). Esta mejoría se debe a que las hornillas tipo Cimpa permiten el uso del bagazo húmedo y una disminución significativa de las emisiones de óxidos de nitrógeno y azufre respecto a otros combustibles, como el caucho y la madera (García, 2004).

Finalmente, **el reúso de biomasa residual** para la alimentación animal puede contribuir a mejorar y diversificar la economía de los productores de caña de azúcar para panela, además de representar una opción de manejo racional de los residuos derivados de la producción (Lagos-Burbano & Castro-Rincón, 2019). Cabe anotar que se ha documentado que la cantidad y volumen de subproductos que se generan en el cultivo de caña de azúcar son potencialmente altos, dado que por cada tonelada de panela se obtiene una tonelada de subproductos (Lagos-Burbano & Castro-Rincón, 2019). **Nutricionalmente, los residuos del procesamiento de la panela representan un inmenso potencial para la suplementación animal (Pachón et al., 2005) debido a su capacidad para producir hasta 20 t ha⁻¹ de nutrientes digeribles totales, con los cuales se puede llegar a sostener cerca de 30 cabezas de ganado adulto (Sierra, 1981).**





Al respecto se debe señalar que, en condiciones experimentales del municipio de Útica (Cundinamarca), **la suplementación de bovinos con bloques multinutricionales elaborados a base de subproductos de la caña para la producción de panela permitió ganancias de peso promedio superiores a los logrados por los animales sin suplementar**, lo cual cobra gran importancia si se quiere contar con una oferta alimenticia en épocas de sequía o déficit hídrico y que permita obtener mayor ganancia diaria de peso e ingresos por la venta de carne en pie (Pachón *et al.*, 2005).

A continuación, en la página siguiente, la figura 23 sintetiza las recomendaciones para maximizar la eficiencia en el uso de los recursos en el sistema productivo y sus aportes a la Política de Crecimiento Verde.





Recomendaciones para maximizar la eficiencia en el uso de los recursos en las actividades productivas, para lograr más con menos mejorando la productividad de la economía y su competitividad en los mercados

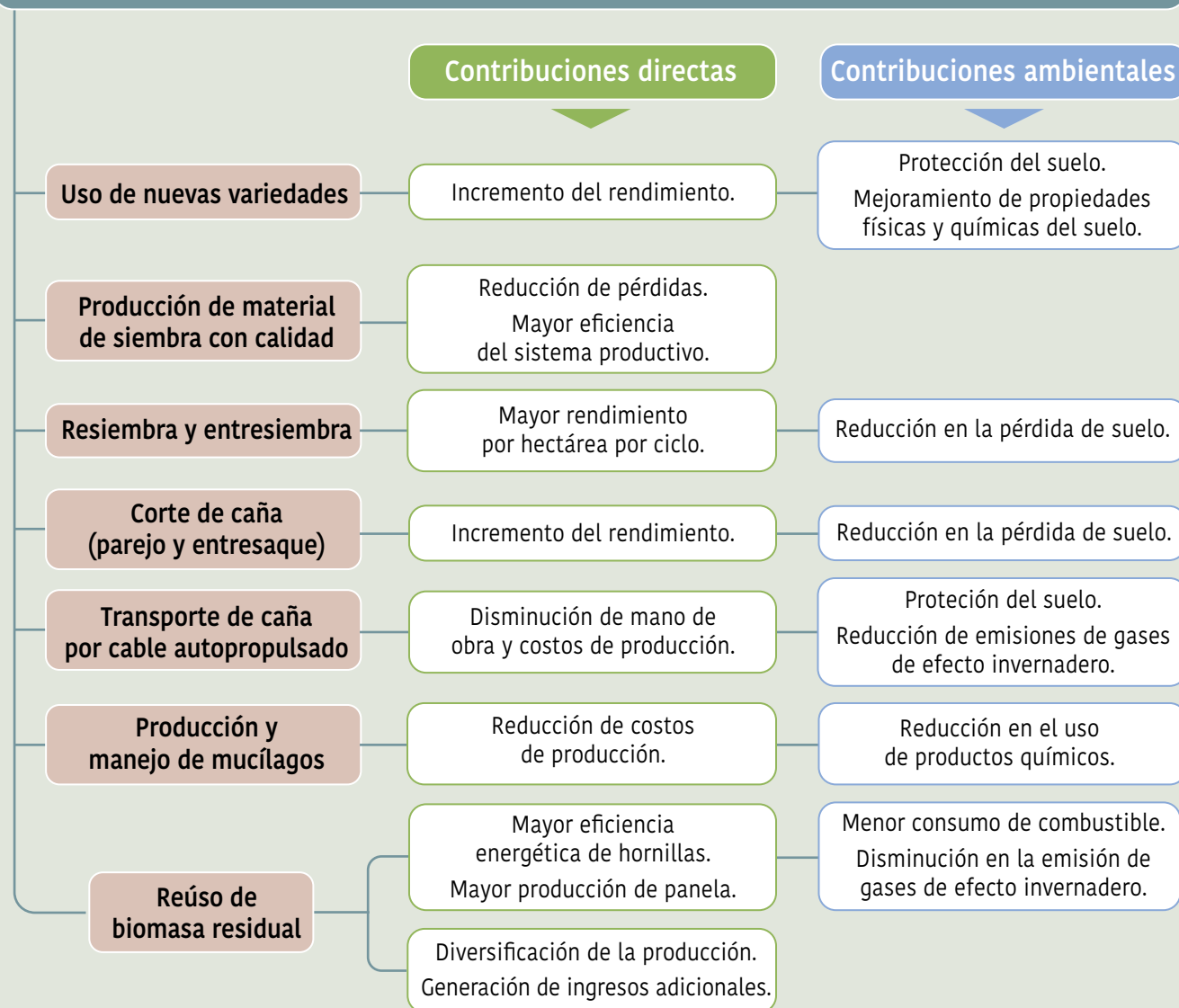


Figura 23. Recomendaciones tecnológicas que aportan beneficios o contribuyen a maximizar el uso de recursos en el sistema productivo de caña de azúcar para la producción de panela.

Fuente: Elaboración propia



Estrategias que favorecen la resiliencia y la productividad

Mejore la adaptación a la variabilidad y el cambio climático

Potencie la adaptación fisiológica de cultivares comerciales de caña de azúcar para la producción de panela

Haga un Manejo Integrado de Plagas

¿Qué es una plaga?

¿Qué estrategias sostenibles puede incluir en el MIP?

¿Cómo contribuyen estas recomendaciones a mejorar la adaptabilidad del sistema productivo a la variabilidad y el cambio climático?





La Política de Crecimiento Verde también busca fortalecer las estrategias de adaptación y mitigación a la variabilidad y **cambio climático** (Conpes 3934), con lo cual es posible reducir la vulnerabilidad de los sistemas agropecuarios (figura 24) e incrementar la capacidad que tienen para recuperarse de los efectos negativos que se presentan y presentarán en los próximos años. Asimismo, esto contribuye a que Colombia cumpla sus compromisos en cuanto a la reducción de **gases de efecto invernadero (GEI)** y la promoción de una agricultura sostenible basada en carbono neutral (Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC], 2021). Adicional a esto, la política cuenta con dos estrategias viables para transitar hacia un crecimiento económico con enfoque verde.

1. **Propiciar** el mejoramiento de los mecanismos y los instrumentos para optimizar el uso de recursos naturales en la producción y la calidad e inocuidad para el consumidor.
2. **Fortalecer** el enfoque ambiental del servicio de extensión agropecuaria en el marco de la Ley 1876 de 2017, por medio de la cual se creó el Sistema Nacional de Innovación Agropecuaria (SNIA) y se dictan otras disposiciones, con el propósito de contribuir a la formación de personal calificado que transfiera las tecnologías y capacite al gremio.



Glosario

Cambio climático:

Modificación en el estado del clima, atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición global de la atmósfera (IPCC, 2018).

Gases de efecto invernadero (GEI):

Componentes gaseosos de la atmósfera, naturales y antropogénicos, que absorben y emiten radiación en longitudes de onda específicas dentro del espectro de radiación terrestre emitida por la superficie de la Tierra, la atmósfera misma y las nubes (IPCC, 2018).

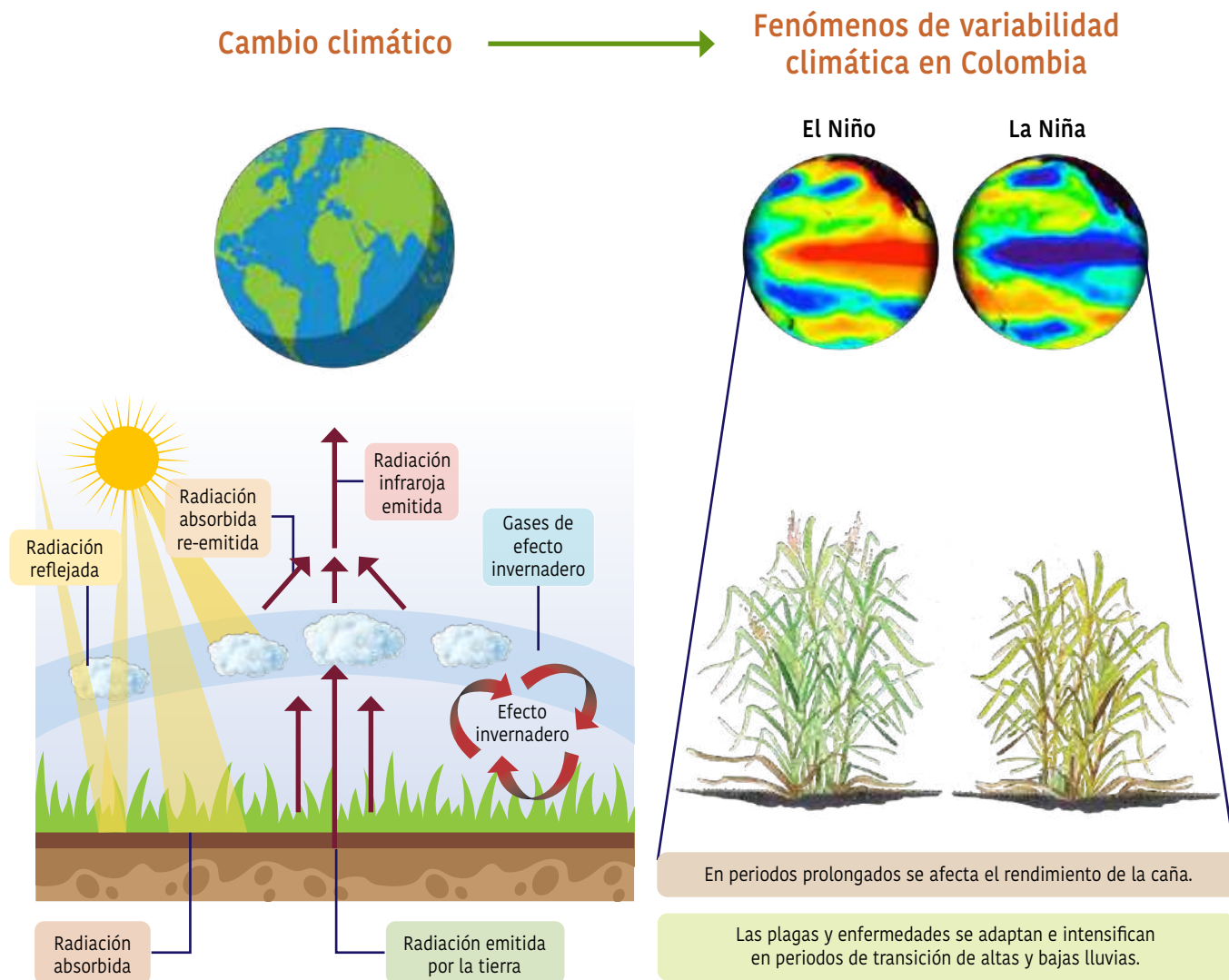


Figura 24. Esquema general de la dinámica de calentamiento global y de los principales fenómenos y efectos sobre la producción de caña.

Fuente: Elaboración propia



Estos objetivos se pueden lograr con la apropiación del conocimiento y el uso de tecnologías que facilitan la toma de decisión frente a épocas de siembra, cosecha y prácticas agronómicas acordes con las condiciones propias de cada región y sistema productivo (heterogeneidad de suelos y **variabilidad climática** regional).

En tal sentido, es sumamente importante reconocer los requerimientos edafoclimáticos del sistema productivo, las características fisiológicas de la caña de azúcar orientadas a la adaptación de las especies cultivadas y en respuesta al manejo y potencial genético (por ejemplo, tolerancia a condiciones adversas de temperatura, a altos contenidos de aluminio, entre otros), así como su vulnerabilidad frente a las condiciones climáticas extremas (figura 25).



Variabilidad climática:

Alteraciones del clima en las escalas espaciales y temporales, a causa de procesos naturales dentro del sistema climático o a variaciones en el forzamiento externo natural o antropogénico (IPCC, 2018).



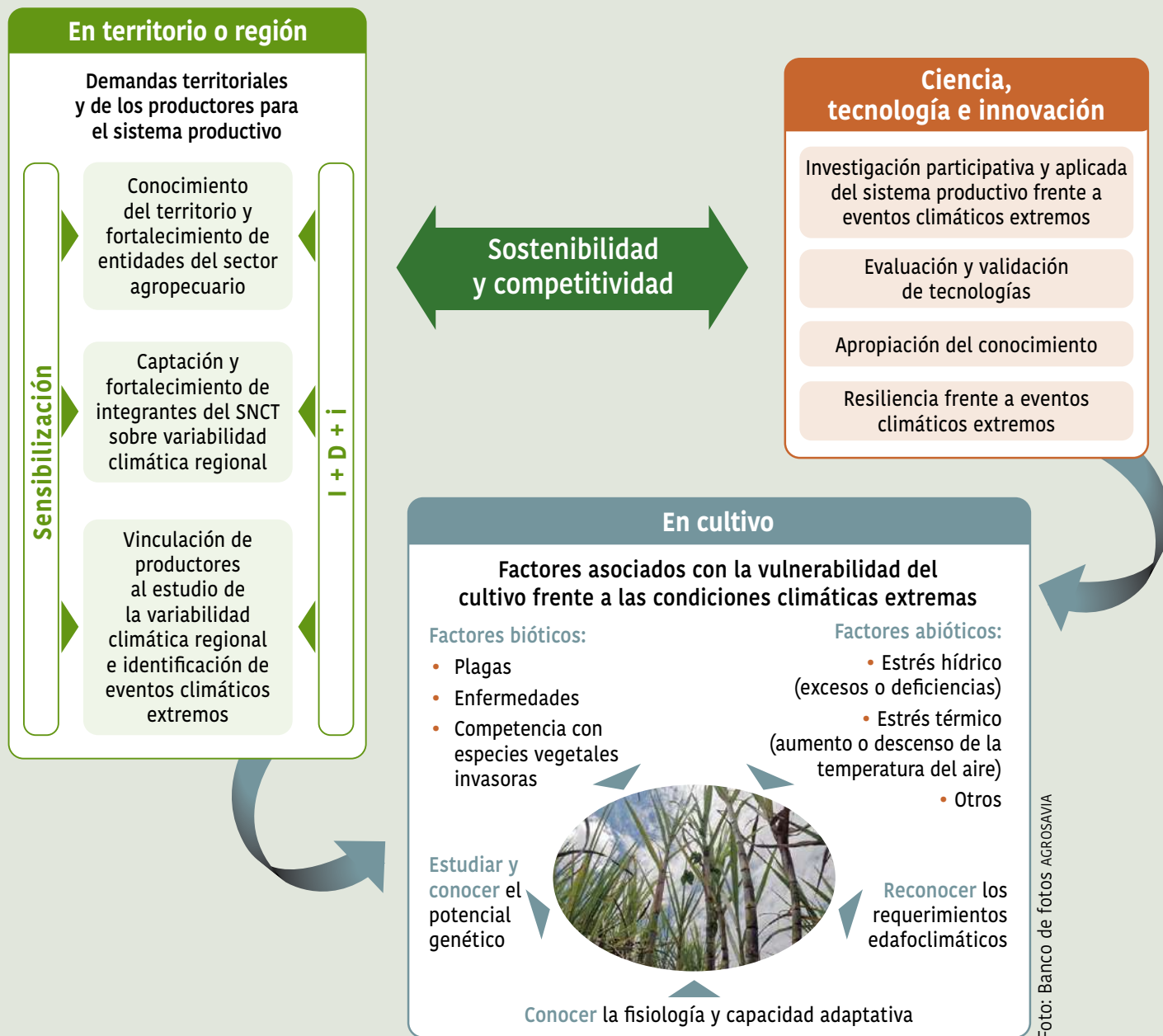


Figura 25. Elementos clave del fortalecimiento territorial para alcanzar la adaptación de los sistemas productivos a la variabilidad climática.

Fuente: Elaboración propia

Para tal fin, y con base en los lineamientos del IPCC (2014), **es fundamental determinar o reconocer los factores de riesgo que están asociados a la intensificación de las variables climáticas durante eventos como La Niña o El Niño** (Pabón & Montealegre, 2017), constituidos por:

- **La amenaza:** fluctuación de las variables climáticas y edáficas que afectan el desarrollo del cultivo (Galvis *et al.*, 2016; IPCC, 2014).
- **La vulnerabilidad:** incluye la exposición, sensibilidad y capacidad adaptativa de los sistemas productivos (Galvis *et al.*, 2016; IPCC, 2014) (figura 26).

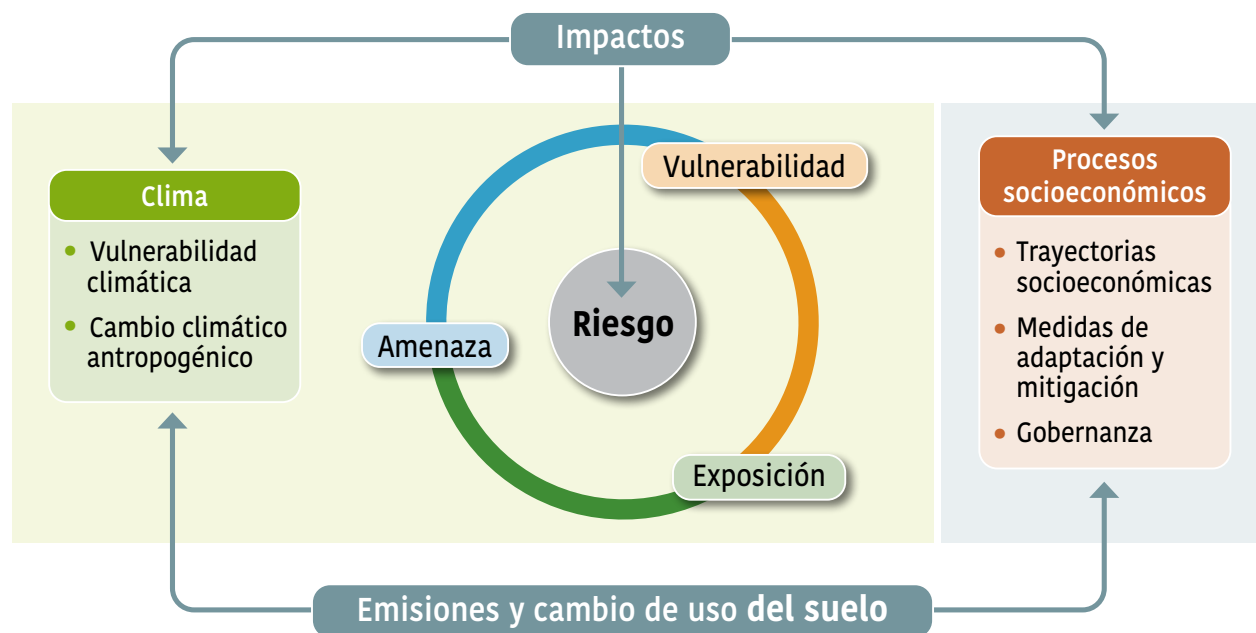


Figura 26. Factores que configuran el riesgo climático.

Fuente: Elaboración propia con base en IPCC (2014)



Por esta razón se requiere información precisa sobre la ubicación de los sistemas productivos y su vulnerabilidad, de tal manera que no solo se pueda direccionar la implementación de estrategias específicas acordes con las demandas, sino también focalizar el desarrollo tecnológico en las regiones paneleras (Galvis *et al.*, 2016) para incrementar su resiliencia ante eventos climáticos extremos (IPCC, 2014). Un ejemplo de la aplicación de estos conceptos es la zonificación de los riesgos agroclimáticos de la caña para panela que se realizó en el municipio de Útica, en el departamento de Cundinamarca (Galvis *et al.*, 2016).

Considerando lo anterior, **a continuación se plantean algunas estrategias que contribuyen al fortalecimiento de la adaptación del sistema productivo de caña de azúcar para la producción de panela ante los efectos adversos de fenómenos climáticos extremos asociados a la variabilidad y cambio climático.**

Potencie la adaptación fisiológica de cultivos comerciales de caña de azúcar para la producción de panela

La caña es una especie con gran capacidad adaptativa a las condiciones edafoclimáticas heterogéneas y adversas, así como al manejo agronómico, lo cual le permite responder positivamente a ambientes con altas temperaturas, mayor luminosidad y **déficit hídrico**. Para esto la especie recurre a diversas estrategias (Valladares & Niinemets, 2008):



Glosario

Déficit hídrico o sequía hidrológica:

Período anormalmente seco y prolongado que ocasiona una escasez de agua. Se refleja en la disminución apreciable en el caudal de los ríos, en el nivel de los lagos y/o en el agotamiento de la humedad del suelo, así como en el descenso de los niveles de aguas subterráneas por debajo de sus valores normales (RT) (OMM, 2013).

- Aumenta el área foliar.
- Disminuye el grosor de las hojas.
- Incrementa la concentración de clorofila.
- Cambia la relación entre la parte aérea y la raíz.

No obstante esta capacidad de adaptación, los eventos climáticos extremos producen diversos efectos en las plantas de caña, como se describe en la figura 27.

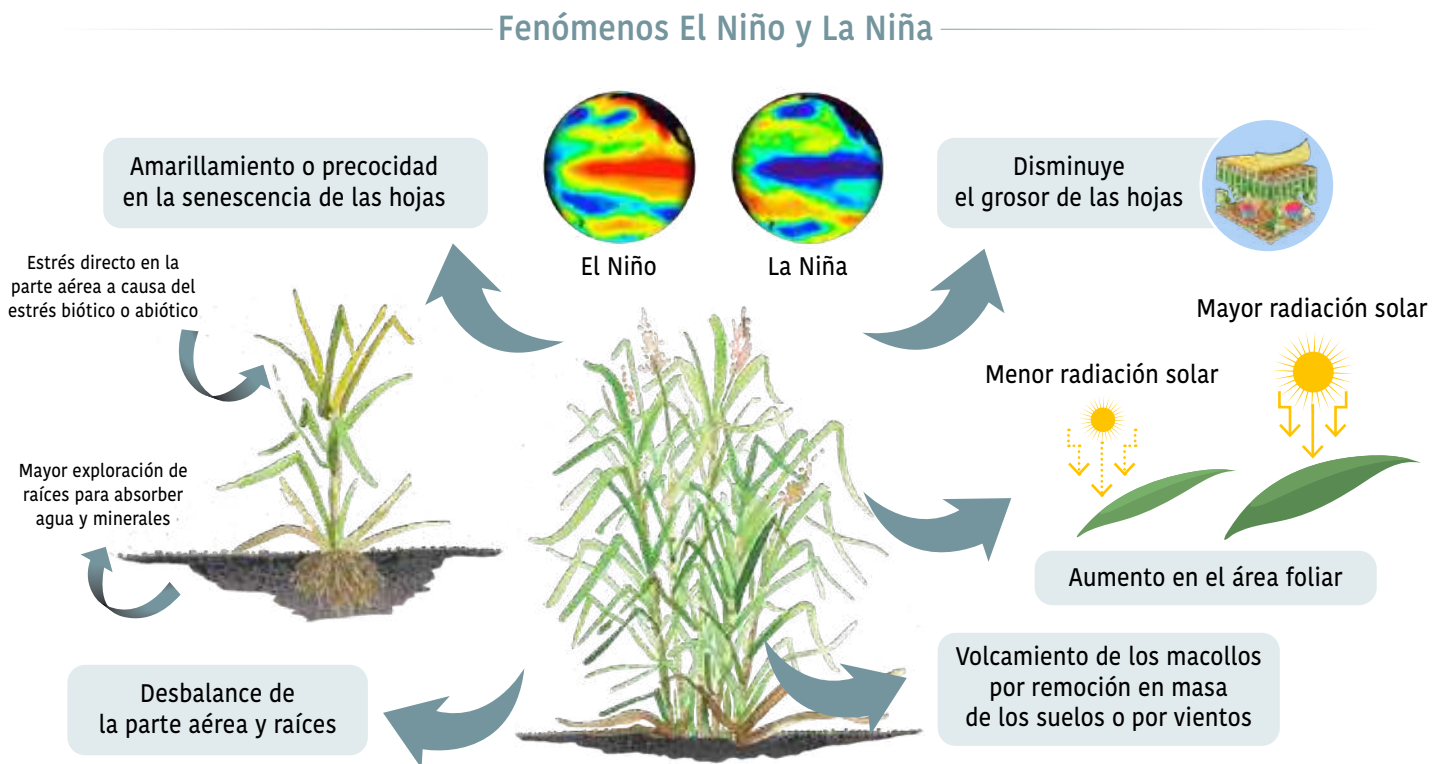


Figura 27. Algunos efectos del estrés causado por eventos climáticos extremos sobre la caña de azúcar.

Fuente: Elaboración propia



Por esta razón, en Colombia existen cultivares de caña de azúcar para la producción de panela con adaptación a diferentes condiciones edafoclimáticas (Ramírez-Durán *et al.*, 2014), de modo que es posible cultivarla en cerca de 28 de los 32 departamentos y en 511 municipios, siendo más representativos los núcleos y departamentos paneleros de Santander, Boyacá, Cundinamarca, Antioquia, Caldas, Quindío, Risaralda, Cauca, Valle del Cauca, Nariño, Huila y Tolima (MADR, 2020).

Precisamente, la oferta varietal de caña de azúcar es la principal estrategia de adaptación al cambio climático. Esto indica que los cultivares destinados a la producción de panela logran la sobrevivencia y, si las condiciones adversas son persistentes, tienen la capacidad de adaptarse a eventos climáticos extremos, como excesos o déficit hídrico, alteraciones en la precipitación, temperatura u otras variables climáticas. Sin embargo, tanto los rendimientos de la caña (TCH) como de la panela (TPH) podrían limitarse o agudizarse si no se implementa un manejo integrado del cultivo.

Al respecto, otro punto relevante de la adaptación al cambio climático tiene que ver con aspectos fitosanitarios, en los que la resistencia varietal es la principal herramienta cuando se quiere implementar un manejo integrado de insectos plaga y enfermedades.



Haga un Manejo Integrado de Plagas

El Manejo Integrado de Plagas (MIP) es una estrategia que busca disminuir los daños causados por un organismo nocivo para las plantas mediante la combinación de diferentes métodos de protección económica y ecológicamente justificables (Bautista-Montealegre *et al.*, 2020). La Política de Crecimiento Verde promueve la conservación del **capital natural** y la seguridad alimentaria considerando diferentes escenarios de variabilidad y cambio climático. **De esta manera, en el mediano y largo plazo espera contribuir a la implementación de una agricultura sostenible fundamentada en la integración de prácticas y labores del cultivo que aseguren el bienestar económico y social de la población, un menor impacto al medioambiente y la generación de capacidades para lograr la adaptación climática del sistema productivo.** En este contexto, el MIP es una de las estrategias que aportan a los principios de esta política, razón por la cual, a continuación, se describen algunos mecanismos y prácticas recomendadas para el cultivo de caña de azúcar destinada a la producción de panela.



Glosario

Capital natural:

Provee insumos, materiales y servicios ambientales para la producción económica a partir de recursos como el agua, el suelo, los bosques, la biodiversidad, el aire y el sol (DNP, 2019).

¿Qué es una plaga?

Se define como plaga a cualquier especie, raza o biotipo vegetal o animal o agente patógeno dañino para las plantas o productos vegetales (Convención Internacional de Protección Fitosanitaria [CIPF], 2018). En esta definición también se tiene en cuenta que la modificación en su distribución, incidencia y daño está influida por cambios de la temperatura, la humedad y los gases atmosféricos, los cuales a su vez alteran la interacción



entre plagas, hospederos y enemigos naturales (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], s. f.).

Por ejemplo, durante los años 2010 y 2011 se reportó en Colombia un aumento en la humedad de los suelos y en la humedad relativa de los cultivos de caña de azúcar para la producción de panela como consecuencia de la ola invernal asociada al incremento de precipitaciones, fenómeno mejor conocido en el país como La Niña (Tarazona-Parra, 2011). Esto trajo como consecuencia un incremento acelerado de plagas como el carbón (*Ustilago scitaminea*), la hormiga loca (*Paratrechina fulva*) y el barrenador del tallo (*Diatraea saccharalis*).

¿Qué estrategias sostenibles puede incluir en el MIP?

Ante las afectaciones que pueden generar las plagas al sistema productivo de caña, en el contexto de variabilidad y cambio climático se sugiere incorporar las siguientes estrategias sostenibles.

Potencie los beneficios de la resistencia varietal

La resistencia varietal se define como las características que las plantas heredan genéticamente y por las cuales resultan menos afectadas por las plagas, en comparación con otros materiales vegetales (Smith, 2005).

Ahora bien, a partir de la flexibilidad fisiológica que posee la caña de azúcar para la producción de panela, en la última década



AGROSAVIA ha realizado estudios con materiales que presentan diversos grados de tolerancia a algunas plagas o limitantes fitosanitarios (insectos plaga y enfermedades) para el sistema productivo (Barona *et al.*, 2021; Ramírez-Durán *et al.*, 2014).

No obstante, para potenciar los beneficios de la resistencia se deben integrar otros métodos de protección incluidos en el MIP, tales como el control físico, etológico y biológico.

Haga control biológico de plagas

El control biológico de plagas es una estrategia de protección de cultivos que involucra el uso de organismos que suprimen las plagas, reducen sus poblaciones o daños e incluye el uso de depredadores, parasitoides, nematodos, hongos, bacterias, protozoos y virus (Cotes, 2018).

Específicamente, **las especies del barrenador de la caña (*Diatraea* spp.) son consideradas una de las principales plagas de este cultivo, ya que atacan tanto a plantas jóvenes como adultas, a las cuales les causan desde perforaciones en la base de los tallos hasta galerías, muerte de cogollos y rompimiento de tallos** (Barreto *et al.*, 2020; Bustillo, 2011; García *et al.*, 2007; Gómez & Lastra, 1995).

Debido a los hábitos de las larvas de este insecto y la reducida eficiencia del control con insecticidas químicos para manejarlas, actualmente se recomienda aplicar la siguiente estrategia de control biológico para reducir el uso de estas moléculas (*mejoramiento en la eficiencia en el uso de los recursos*) y contribuir a la conservación de la biodiversidad (*protección del capital natural*):



Adulto de *Diatraea*
Indigenella

Foto: Yuly Sandoval-Cáceres

Libere insectos parasitoides (benéficos)

Los parasitoides depositan sus huevos dentro de los insectos plaga y una vez emergen sus larvas, estas atacan progresivamente los órganos vitales de su huésped, dan muerte al insecto y salen de este para continuar su ciclo de vida (Barreto *et al.*, 2020; Bustillo, 2011; Cotes, 2018; García *et al.*, 2007; Gómez & Lastra, 1995).

En el caso específico del barrenador de la caña, son ampliamente reconocidas la mosca *Billaea claripalpis* Wulp (Diptera: Tachinidae) (Saldaña-Chafloque *et al.* 2021) y la avispa *Cotesia flavipes* Cameron (Hymenoptera: Braconidae) (Astola-Mariscal & Narrea-Cango, 2019) (figura 28).

Figura 28. Mosca *Billaea* sp. (a) y avispa *Cotesia* sp. (b) reportados como parasitoides de *Diatraea* spp.



Foto: Pohjoismäki (2008)



Foto: Moisset (2009)



Aplique hongos y bacterias entomopatógenos

Los *hongos entomopatógenos*, como *Beauveria bassiana*, *Metarhizium anisopliae* (Obando *et al.*, 2013; Soto Giraldo & Cardona, 2015) y *Paecilomyces lilacinus* (Soto & Cardona, 2015) se adhieren y penetran la superficie de los insectos plaga y luego se propagan e invaden su interior. Como consecuencia, el huésped muere y después los hongos germinan en el exterior del cuerpo.

Por su parte, las *bacterias entomopatógenas*, principalmente especies de este género *Bacillus* (*Bacillus thuringiensis*, *B. popilliae*, *B. sphaericus* y *B. moritai*) (Cotes, 2018; Zúñiga-Oviedo *et al.*, 2016), producen toxinas luego de que han sido ingeridas por el insecto plaga, las cuales causan parálisis del intestino, diarrea, parálisis total y muerte (septicemia) (Cotes, 2018).



Glosario

Hongos entomopatógenos:

Agentes de control biológico de muchas especies de artrópodos que naturalmente ocasionan la reducción de poblaciones (Espinell *et al.*, 2018).

¿Cómo contribuyen estas recomendaciones a mejorar la adaptabilidad del sistema productivo a la variabilidad y el cambio climático?

Uno de los principios rectores de la Política de Crecimiento Verde consiste en fortalecer la mitigación y la adaptación al cambio climático de manera articulada con las iniciativas nacionales existentes en la materia (Conpes 3934). Se estima que los daños ocasionados por el fenómeno de La Niña durante los años 2010 y 2011 ascendieron a 11,2 billones de pesos, asociados principalmente a pérdidas de infraestructura y afectaciones en el sector agropecuario (CEPAL, 2012).



Adicionalmente, las pérdidas generadas por el fenómeno de El Niño fueron cercanas a 3,1 billones de pesos, equivalente al 0,6 % del PIB del año 2015 (DNP, 2017).

En respuesta a la necesidad de mitigar el impacto de estos fenómenos y gracias al trabajo conjunto entre AGROSAVIA y Cenicaña, actualmente existen en el país cerca de 23 cultivares de caña de azúcar para la producción de panela adaptadas a condiciones edafoclimáticas de los departamentos de Antioquia, Boyacá, Caldas, Cauca, Cundinamarca, Huila, Nariño, Norte de Santander, Risaralda, Santander, Tolima y Valle del Cauca. De estas **sobresalen los materiales Cenicaña Colombia (CC)** CC 00-2639, CC 92-2965, CC 93-3458 y CC 93-714, CC 93-7510 por su capacidad adaptativa a suelos con pendientes pronunciadas y de baja fertilidad natural; CC 93-7711 por su eficiencia en el uso de agua (Ramírez-Durán *et al.*, 2014) y CC 01-1940 por su adaptación a ambientes húmedos (Barona-Rodríguez *et al.*, 2020). Por otro lado, la caña de azúcar para la producción de panela puede ser considerada como un sistema productivo que contribuye a la reducción de gases de efecto invernadero debido a su capacidad para capturar carbono, la cual se ha estimado entre 18,2 t ha⁻¹ y 57,3 t ha⁻¹ (Sierra-Cárdenas, 2010).

En cuanto al manejo fitosanitario, **la resistencia varietal** de los cultivares les confiere cierto grado de tolerancia a barrenadores (*Diatraea* spp.), hormiga loca (*Paratrechina fulva*), pulgón amarillo (*Sipha falva*), carbón (*U. scitaminea*), roya café (*Puccinia melanocephala*), Virus del Mosaico Común (scmv), cogollo retorcido (pokkah boeng), mancha de anillo (*Leptosphaeria sacchari*) y mancha de ojo (*Bipolaris sacchari*) (Ramírez-Durán *et al.*, 2014).



Glosario

Resistencia varietal:

Son las características que las plantas heredan genéticamente y por las cuales resultan menos afectadas por plagas, en comparación con otros materiales vegetales (Smith, 2005).

Como se mencionó, **incluir controladores biológicos** complementarios al uso de materiales resistentes a plagas disminuye las pérdidas que estas generan. Por ejemplo, en el caso de *Diatraea* spp., cada unidad porcentual de daño generado (1 % en la intensidad de infestación) puede representar aproximadamente la reducción de 1 t de caña por hectárea cosechada (Gómez *et al.*, 2009).

En este sentido, en Colombia existen varias ofertas comerciales para controlar la *Diatraea* spp. como son: las moscas parasitoides *C. flavipes*, *Billaea claripalpis* y *Genea jaynesi* y las micro-avispa *Trichogramma exiguum* y *Lydella minense* (Löhr *et al.*, 2018) (figura 29).



Foto: Luz Adriana Lastra Borja (2018)

Figura 29. Larvas de *C. flavipes* abandonando *D. saccharalis* después del proceso de parasitismo.

Fuente: Lastra-Borja (2018)

Asimismo, se reporta el efecto del hongo *Beauveria bassiana* y la bacteria *Bacillus thuringiensis* cultivar kurstaki (Zúñiga-Oviedo & Soto-Giraldo, 2018) y sobre los cuales se ha reportado en condiciones experimentales 92 % y 100 % de mortalidad de larvas con *B. bassiana* y su mezcla con *B. thuringiensis* cultivar kurstaki, efecto que se traduce en la disminución del daño entre 58 % y 97 %.

Específicamente, la implementación de las prácticas recomendadas en este capítulo (figura 30) orienta el crecimiento verde en la caña para panela porque:

1. **Fomentan** la agricultura ecológica y agroecológica.
2. **Incorporan** enfoques de manejo sostenible de la tierra y prácticas agroecológicas en el desarrollo de nuevas ofertas tecnológicas.
3. **Fortalecen** el mercado de productos verdes.



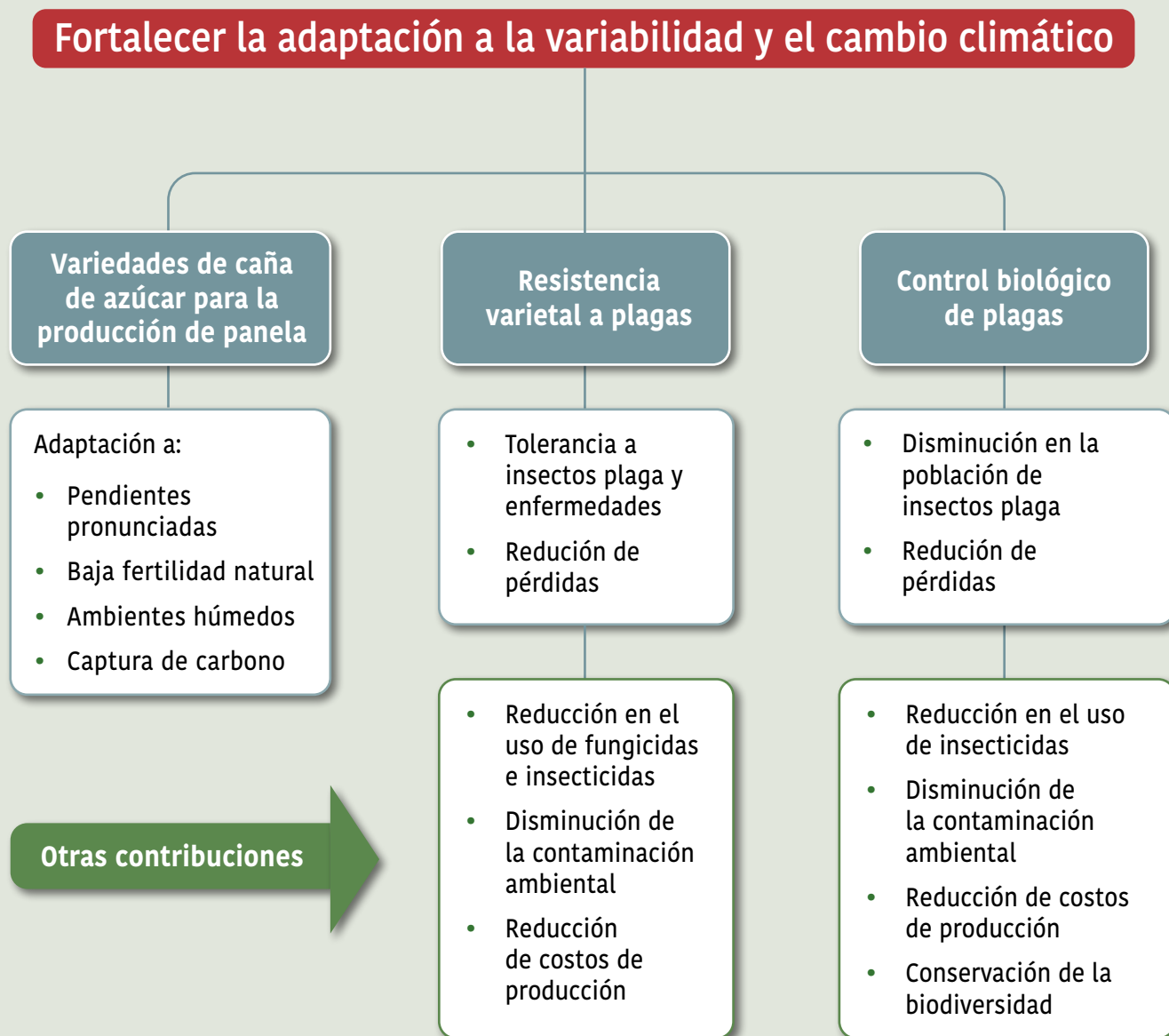


Figura 30. Algunas recomendaciones tecnológicas que contribuyen a fortalecer la adaptación a la variabilidad y el cambio climático en el sistema productivo de caña de azúcar para la producción de panela.

Fuente: Elaboración propia



Finalmente, la aplicación de una agricultura sostenible en este sistema productivo, basada en la protección del capital natural e incluyendo el componente de Agricultura Campesina, Familiar y Comunitaria (ACFC), facilitará a los productores y agroindustriales el acceso a los incentivos económicos y tributarios, entre otros beneficios, que contempla la Política de Crecimiento Verde (Conpes 3934).

En esta misma línea, el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS) estableció mediante decreto que una de las acciones que pueden recibir un incentivo económico son las dirigidas a la restauración, entre las cuales se incluyen las actividades productivas que permitan la generación de servicios ambientales a partir del uso sostenible del suelo, respetando el régimen de uso y manejo del área o ecosistema estratégico del cual se trate (Ávila & Buitrago, 2020).





Consideraciones finales

En Colombia los recursos naturales, ambientales y ecosistémicos demandan cuidado para asegurar su sostenibilidad. En este contexto, se debe contar con la cooperación de distintos actores en los diversos territorios, además de que la ciudadanía debe estar informada, capacitada y empoderada frente a los objetivos de la Política de Crecimiento Verde, dado que esta tiene el objetivo de ser una construcción colectiva.

Por lo tanto, como nota complementaria a la presente obra y como apunte constructivo al documento Conpes 3934, se recomienda establecer un plan de comunicaciones definido y claro que permita informar y capacitar a los actores de la sociedad civil en estrategias verdes. Este plan debe incluir:

- Foros, encuentros y congresos de divulgación, capacitación y rendición de cuentas.
- Reuniones para la co-creación de estrategias y generación de nuevas iniciativas de crecimiento verde.
- Espacios académicos, científicos y empresariales que favorezcan la innovación y la creación de nuevas tecnologías sostenibles.
- Estrategias de comunicación y consenso con las comunidades para definir, conocer y concretar las especificidades de los territorios, ecosistemas, fuentes hídricas, etc.



- Espacios para el fomento y encuentro de sinergias entre los distintos sectores, sus objetivos e intereses.

En el marco de la Política de Crecimiento Verde (Conpes 3934), las recomendaciones tecnológicas que se hicieron en este documento podrían contribuir al logro y la materialización de la política y a que se realice parcial o totalmente en unidades productivas dedicadas a la producción de caña para panela. Entre muchas iniciativas que llevan a cabo los actores del Sistema Nacional de Ciencia y Tecnología (SNIA) para el subsector panelero, en esta obra se mencionaron y/o describieron algunas tecnologías que AGROSAVIA promueve y que se pueden enriquecer con los aportes y las iniciativas interinstitucionales que construyen diversos sectores en el país, y que al 2030 podrían mejorar y potenciar el desarrollo sostenible de este sistema productivo.

Específicamente, con el propósito de optimizar el uso de los recursos naturales y fortalecer la adaptación a la variabilidad y el cambio climático, en este documento se propusieron las siguientes estrategias base a la luz de los principios de la Política de Crecimiento Verde: **prácticas de conservación de suelos, reúso de biomasa residual para la fabricación de abonos orgánicos, uso de nuevos cultivares, producción de material de siembra con calidad, resiembra y entresiembra, sistema de corte de la caña de azúcar, transporte de la caña por cable autopropulsado, producción y manejo de mucílago vegetales, uso de biomasa residual en el proceso panelero y diversificación de la producción, y Manejo Integrado de Plagas (MIP).**

En términos generales, estas recomendaciones y tecnologías buscan impactar positivamente en cinco aspectos: **1) incentivar**

“ Las recomendaciones tecnológicas que se hicieron en este documento podrían contribuir al logro y la materialización de la política y a que se realice parcial o totalmente en unidades productivas dedicadas a la producción de caña para panela ”



del uso de tecnologías sostenibles en el sistema productivo; **2) integrar** conceptos de la agricultura climáticamente inteligente para contribuir a mejorar la capacidad adaptativa con base en la apropiación de conocimiento; **3) fomentar** la protección del capital natural; **4) mejorar** la calidad de vida de los productores agropecuarios y agroindustriales y, **5) aportar** a la seguridad alimentaria de los territorios.

Otro aspecto que se debe resaltar tiene que ver con las principales oportunidades de bionegocios que se generan del cultivo de caña de azúcar para la producción de panela que siguen los criterios sugeridos en este documento. **En concreto, estas oportunidades se encaminan a la ampliación del portafolio nacional de bioproductos y bioinsumos, al aumento de la competitividad de los productores y a la rentabilidad de la producción. De esta manera también se estimula la actividad turística científica y se abre la puerta a la innovación con proyectos regionales que tengan un enfoque agroturístico o agroecológico.**

Ahora bien, como muchas otras políticas públicas, la de Crecimiento Verde requiere elevados niveles de empoderamiento o, por lo menos, de colaboración y cocreación, en la medida en que involucra distintos sectores y territorios. En consecuencia, es esencial implementar iniciativas empresariales y comunitarias, las cuales solo se lograrán con cooperación, solidaridad y corresponsabilidad. Asimismo, es importante que se deleguen tareas a distintos actores de la sociedad que no solo conozcan y cuiden los territorios, sino que además estén familiarizados con las principales actividades relacionadas con los recursos y ecosistemas ambientales.





En este sentido, un punto fundamental de esta política tiene que ver con la socialización y la divulgación de los beneficios ambientales, económicos y técnicos que traerá consigo desarrollo y mejoras tecnológicas al sistema productivo de caña para panela. Por supuesto, también es vital el compromiso de los diferentes actores del SNIA que ejercen acciones en el territorio y que pueden facilitar su comprensión.

Finalmente, **se debe tener presente que el país enfrenta nuevos retos climáticos, técnicos, económicos y sociales que hacen necesario equilibrar el uso de los recursos naturales con el desarrollo económico.** Con este escenario de fondo y dadas las condiciones agronómicas en las cuales se cultiva actualmente la caña de azúcar en el país, se debe potenciar la productividad implementando tecnologías con enfoque de crecimiento verde y en sincronía con los actores del SNIA y el subsector panelero.





Referencias

- Álvarez, R., & Farías, A. (2012). *Modelo productivo para el cultivo de caña panelera (Saccharum officinarum) en la hoya del río Suárez (Paquete Tecnológico)*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria-AGROSAVIA.
- Ángel, M. (2012). *Aprovechamiento de subproductos de la caña panelera en la alimentación animal*. Federación Nacional de Productores de Panela (Fedepanela). <http://hdl.handle.net/20.500.12324/2298>
- Astola-Mariscal, S., & Narrea-Cango, M. (2019). Biología y comportamiento de *Cotesia flavipes* Cameron (Braconidae) parasitoide de *Diatraea saccharalis* Fabricius (Crambidae). *Ecología Aplicada*, 18(1), 77-83. <http://dx.doi.org/10.21704/rea.v18i1.1309>
- Ávila, J., & Buitrago, L. (2020). *Sistemas agropecuarios sostenibles, biodiversidad y servicios ecosistémicos: Referentes para Colombia*. WCS Colombia, TNC Colombia. https://www.andi.com.co/Uploads/WCS_Modulo_1_Referentes_para_Colombia.pdf
- Ballesteros, H. B., & Aristizábal, G. L. (2007). *Información técnica sobre gases de efecto invernadero y el cambio climático*. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales-IDEAM. Subdirección de Meteorología.
- Barona Rodríguez, A. F., Antolinez Sandoval, E. Y., López Lopera, J. G., Viveros Valens, C. A., Jiménez Vargas, J., Ángel Sánchez, J. C., Ballesteros Araque, A. L., & Vargas Orozco, G. A. (2021). Comportamiento agroindustrial de seis variedades de caña de azúcar (*Saccharum spp.*) para panela en Barbosa (Colombia). *Ciencia y Agricultura*, 18(3), 15-28. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8132334>



- Barona-Rodríguez, A. F., Insuasty Burbano, O. I., Viveros-Valens, C. A., Ángel-Sánchez, J. C., & Ramírez-Durán, J. (2020). Evaluación de cultivares de caña de azúcar (*Saccharum* spp.) para producción de panela en el departamento de Boyacá, Colombia. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 23(2), e-1298. <http://doi.org/10.31910/rudca.v23.n2.2020.1298>
- Barona-Rodríguez, A. F., Viveros-Valens, C. A., Ramírez-Durán, J., & Insuasty Burbano, O. I. (2019). Evaluación de variedades de caña de azúcar para aumentar la producción de panela en el departamento del Tolima. En C. A. Viveros-Valens (Ed.), *Variedades de caña de azúcar Cenicaña Colombia (CC) evaluadas en las zonas paneleras de Colombia* (pp. 77-83). Federación Nacional de Productores de Panela (Fedepanela), Centro de Investigación de la Caña de Azúcar (Cenicaña), Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria-AGROSAVIA. https://www.cenicana.org/wp-content/uploads/2019/10/Variedades_ca%C3%B1a_azucar_cc_zona_panelera.pdf
- Barreto Triana, N. C., Cely, N. L., Osorio, P. A., Sandoval, Y. P., Sarmiento, Z. X., & Barona, A. F. (2020). *Los barrenadores del tallo de la caña de azúcar en regiones paneleras de Colombia* [Video]. Biblioteca Agropecuaria de Colombia, Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria, AGROSAVIA. <http://hdl.handle.net/20.500.12324/36496>
- Bautista-Montealegre, L., Cardona, W., & Ospina-Parra, C. (2020). *Manejo Integrado de Plagas (MIP) en el cultivo de plátano (Musa AAB)*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria, AGROSAVIA. <https://doi.org/10.21930/agrosavia.nbook.7404449>
- Beltrán Pineda, M. E. (2014). La solubilización de fosfatos como estrategia microbiana para promover el crecimiento vegetal. *Ciencia & Tecnología Agropecuaria*, 15(1), 101-113. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8132334>
- Buenaventura, C. (1990). *Semilleros y siembra de la caña de azúcar* [Serie técnica n.º 6]. Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia (Cenicaña).
- Bustillo, A. E. (2011). *Parasitoides, predadores y entomopatógenos que afectan las plagas de la caña de azúcar en Colombia* [Documento de trabajo n.º 719]. Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia (Cenicaña). <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.35265.71520>



- Castillo Torres, R. O., & Silva Cifuentes, E. (2004). *Fisiología, floración y mejoramiento genético de la caña de azúcar en Ecuador* [Publicación técnica n.º 3]. Centro de Investigación de la Caña de Azúcar del Ecuador (CINCAE). <https://cincae.org/wp-content/uploads/2013/05/FISIOLOGIA-Y-MEJORAMTO.pdf>
- Castro-Rincón, E., Mojica-Rodríguez, E., Carulla-Fornaguera, J., & Lascano-Aguilar, C. (2018). Abonos verdes de leguminosas: Integración en sistemas agrícolas y ganaderos del trópico. *Agronomía Mesoamericana*, 29(3), 711-729. <https://doi.org/10.15517/ma.v29i3.31612>
- Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia [Cenicaña]. (1995). *El cultivo de la caña en la zona azucarera de Colombia*. Cenicaña.
- Colombia Productiva. (2018). *Guía empresarial economía circular: Una forma diferente de hacer negocios sostenibles*. Centro Nacional de Producción Más Limpia y Colombia Productiva. <https://www.colombiaproductiva.com/ptp-capacita/publicaciones/transversales/guia-empresarial-de-economia-circular/200310-cartilla-economia-circular>
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe [CEPAL], Food and Agriculture Organization [FAO], & Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura [IICA]. (2021). *Perspectivas de la agricultura y del desarrollo rural en las Américas: Una mirada hacia América Latina y el Caribe 2019-2020*. https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/47208/1/CEPAL-FAO21-22_es.pdf
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe [CEPAL]. (2011). *Agricultura y cambio climático: Instituciones, políticas e innovación*. Memoria del seminario internacional realizado en Santiago de Chile, 10 y 11 de noviembre de 2010. Naciones Unidas.
- Consejo Nacional de Política Económica y Social, Departamento Nacional de Planeación [Conpes]. (2018a). *Documento Conpes 3934: Política de Crecimiento Verde*. <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Conpes/Econ%C3%B3micos/3934.pdf>



- Consejo Nacional de Política Económica y Social, Departamento Nacional de Planeación [CONPES]. (2018b). *Política de Crecimiento Verde: Documento Conpes 3934 de 2018: Resumen ejecutivo*. <https://www.dnp.gov.co/Crecimiento-Verde/Documents/Pol%C3%ADtica%20CONPES%203934/Resumen%20Pol%C3%ADtica%20de%20Crecimiento%20Verde%20-%20diagramaci%C3%B3n%20FINAL.pdf>
- Convención Internacional de Protección Fitosanitaria [CIPF]. (2018). *Normas internacionales para medidas fitosanitarias n.º 5: Glosario de términos fitosanitarios*. https://www.ippc.int/static/media/files/publication/es/2018/07/ISPM_05_2018_Es_2018-07-10_PostCPM13.pdf
- Córdoba Sánchez, S., Arévalo, R. A., Mazairo Sanomya, R., Bertoncini, E. I., Arévalo Corder, L. U., Chaila, S., & Fustaino, M. L. (2014). *Saccharum spp. en Brasil: Una revisión. Avances en Investigación Agropecuaria*, 18(3), 49-64. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=83732353005>
- Corporación Autónoma Regional [CAR]. (2022). *Glosario de términos ambientales*. <https://www.car.gov.co/>
- Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria [AGROSAVIA]. (2017). *Hornilla panelera tipo CIMPA: tecnología que transformó la agroindustria* [Video de YouTube]. <https://www.youtube.com/watch?v=MpBsgU26Yn0>
- Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria [AGROSAVIA]. (2019). *Caracterización físico-química de los suelos de la Hoya del río Suárez [Oferta tecnológica AGROSAVIA]*. <https://www.agrosavia.co/productos-y-servicios/oferta-tecnol%C3%B3gica/0346-caracterizaci%C3%B3n-f%C3%ADsico-qu%C3%ADmica-de-los-suelos-de-la-hoya-del-r%C3%ADo-su%C3%A1rez>
- Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria [AGROSAVIA]. (2020). *Modelo de evaporación híbrido para la producción de panela* [Video]. Biblioteca Agropecuaria de Colombia. <http://hdl.handle.net/20.500.12324/36508>



- Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria [AGROSAVIA]. (2021a). Sistema de transporte de caña por cable autopropulsado [Oferta tecnológica AGROSAVIA]. <https://www.agrosavia.co/productos-y-servicios/oferta-tecnol%C3%B3gica/0343-sistema-de-transporte-de-ca%C3%B1a-por-cable-autopropulsado>
- Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria [AGROSAVIA]. (2021b). Hornillas paneleras ecoeficientes tipo Cimpa [Oferta tecnológica AGROSAVIA]. <https://www.agrosavia.co/productos-y-servicios/oferta-tecnol%C3%B3gica/0132-dise%C3%B1o-y-construcci%C3%B3n-de-un-modelo-regional-demostrativo-de-hornilla-panelera-para-tolima>
- Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria [AGROSAVIA]. (2023). Hornillas paneleras ecoeficientes tipo Cimpa [Video de Youtube]. <https://www.youtube.com/watch?v=EELXc2ZABLw>
- Cotes, A. (2018). Introducción: El concepto de control biológico y sus premisas fundamentales. En A. Cotes (Ed.), *Control biológico de fitopatógenos, insectos y ácaros* (vol. 1, pp. 44-53). Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria-AGROSAVIA. <https://doi.org/10.21930/agrosavia.investigation.7402537>
- Deantonio-Florido, L. Y., Bautista, L. G., Lesmes, J. C., & Cardona, W. A. (2021). Allometric response of two sugarcane cultivars for panela to foliar fertilization in the nursery. *Revista Agronomía Mesoamericana*, 32(2), 422-441. <https://10.15517/am.v32i2.43297>
- Departamento Nacional de Planeación [DNP], & Instituto Global de Crecimiento Verde [GGGI]. (2016). *Crecimiento Verde para Colombia: Elementos conceptuales y experiencias internacionales*. <https://www.dnp.gov.co/Crecimiento-Verde/Paginas/Diagnostico.aspx>
- Departamento Nacional de Planeación [DNP]. (2019). *ABC de la Política de Crecimiento Verde*. <https://www.dnp.gov.co/Crecimiento-Verde/Documents/Pol%C3%ADtica%20CONPES%203934/ABC%20de%20la%20Pol%C3%ADtica%20de%20Crecimiento%20Verde.pdf>
- Douds, D., & Millner, P. (1999). Biodiversity of arbuscular mycorrhizal fungi in agroecosystems. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 74, 77-93. <https://pubag.nal.usda.gov/download/45458/pdf>



- Duiker, S. W., Rhoton, F. E., Torrent, J., Smeck, N. E., & Lal, R. (2003). Iron (hydr) oxide crystallinity effects on soil aggregation. *Soil Science Society of America Journal*, 67, 606-611. <https://doi.org/10.2136/sssaj2003.6060>
- Espinel Correal, C., Torres Torres, L. A., Villamizar Rivero, L. F., Bustillo Pardey, A. E., Zuluaga Mogollón, M. V., & Cotes Prado, A. M. (2018). *Capítulo 6. Hongos entomopatógenos en el control biológico de insectos plaga*. En A. Cotes (Ed.), *Control biológico de fitopatógenos, insectos y ácaros* (vol. 1, pp. 334-367). Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria-AGROSAVIA.
- European Commission. (2020). *Bioeconomy: Policies, initiatives, events and publications in support of research and innovation in the bioeconomy*. <https://ec.europa.eu/research/bioeconomy/index.cfm>
- Fernández, M. T., & Rodríguez, H. (2005). El papel de la solubilización de fósforo en los biofertilizantes microbianos sobre los derivados de la caña de azúcar. *Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar*, 39(3), 27-34. <https://www.redalyc.org/pdf/2231/223120688005.pdf>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations [FAO]. (2000). *Manual de prácticas integradas de manejo y conservación de suelos* [Boletín de tierras y aguas de la FAO n.º 8]. FAO e Instituto Internacional de la Agricultura Tropical (IITA). <https://www.midagri.gob.pe/portal/download/pdf/ais-2015/manual-pract-integradas.pdf>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations [FAO]. (2002a). *Captura de carbono en los suelos para un mejor manejo de la tierra*. FAO. <https://www.fao.org/3/bl001s/bl001s.pdf>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations [FAO]. (2002b). *Código internacional de conducta para la distribución y utilización de plaguicidas*. FAO. https://www.fao.org/fileadmin/templates/agphome/documents/Pests_Pesticides/Code/Code_Spanish_2015_Final.pdf



- Food and Agriculture Organization of the United Nations [FAO]. (2013). *Manual de compostaje del agricultor: Experiencias en América Latina*. FAO. <https://www.fao.org/3/i3388s/i3388S.pdf>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations [FAO]. (2017). *Conservation agriculture*. FAO. <https://www.fao.org/3/i8858en/I8858EN.pdf>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations [FAO]. (2021a). *Portal de Suelos de la FAO - Propiedades Biológicas: El ciclo del nitrógeno*. FAO. <http://www.fao.org/soils-portal/soil-survey/propiedades-del-suelo/propiedades-biologicas/es/>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations [FAO]. (2021b). *Conservación del suelo*. <http://www.fao.org/soils-portal/soil-management/conservacion-del-suelo/es/>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations [FAO]. (2021c). *Soil biodiversity*. FAO. <http://www.fao.org/soils-portal/soil-biodiversity/en/>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations [FAO]. (s. f.). *El cambio climático, las plagas y las enfermedades transfronterizas*. <https://www.biopasos.com/biblioteca/cambio%20clim%C3%A1tico%20plagas%20y%20enfermedades%20FAO.pdf>
- Forbes Staff. (2022, 27 de julio). Colombia sería el país con mayor crecimiento en 2022 en América Latina: FMI. <https://forbes.co/2022/07/27/economia-y-finanzas/colombia-seria-el-pais-con-mayor-crecimiento-en-2022-en-america-latina-fmi/>
- Forero, C. A., & Sánchez, R. J. (2016). *Modelo productivo, manejo agronómico de la caña de azúcar y producción agroindustrial de panela en la hoya de río Suárez*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria-AGROSAVIA. <http://hdl.handle.net/20.500.12324/13747>
- Galvis, M. M., Rincón, N. A., Corzo, J. I., Bolaños, M. M., Rodríguez, G. A., & Molano, L. C. (2016). *Plan de Manejo Agroclimático Integrado del sistema productivo de caña panelera (Saccharum officinarum L.), Municipio de Útica, Departamento de Cundinamarca*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria-AGROSAVIA, Fondo Adaptación. <https://repository.agrosavia.co/handle/20.500.12324/37321>



- García, H. R., Albarracín, L. C., Toscano Latorre, A., Santana, N., & Insuasty Burbano, B. O. (2007). *Guía tecnológica para el Manejo Integral del sistema productivo de caña panelera*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria-AGROSAVIA. <http://hdl.handle.net/20.500.12324/13454>
- García, M. (2004). Hornillas paneleras: Evaluación de impacto ambiental. *Revista Innovación y Cambio Tecnológico*, 4(1), 20-29. <https://repository.agrosavia.co/handle/20.500.12324/15235>
- Gómez, L. A., & Lastra, L. A. (1995). Insectos asociados con la caña de azúcar en Colombia. En C. Cassalet, J. Torres & C. Isaacs (Eds.), *El cultivo de la caña en la zona azucarera de Colombia* (pp. 237-263). Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia (Cenicaña). <https://repository.agrosavia.co/handle/20.500.12324/1766>
- Gómez, L. A., Quintero, E. M., Jurado, J. A., Obando, V., Larrahondo, J. E., & González. A. (2009). Una versión actualizada de las pérdidas que causan los barrenadores de la caña de azúcar en el valle del río Cauca. En *Memorias VIII Congreso de la Sociedad Colombiana de Técnicos de la Caña de Azúcar* (pp. 136-143). Tecnicaña.
- González-Chavarro, F., Cabezas-Gutiérrez, M., Ramírez-Gómez, M., & Ramírez-Durán, J. (2018). Macronutrient absorption curves in three varieties of sugarcane (*Saccharum officinarum* L.) for panela in the Hoya del Río Suárez. *Rev. U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 21(2), 395-404. <https://10.31910/rudca.v21.n2.2018.995>
- Hernández, G. I., Salgado, G. S., Palma, D. J., Lagunés, L. C., Castelán, E. M., & Ruiz, R. O. (2008). Vinaza y composta de cachaza como fuente de nutrientes en caña de azúcar en un gleysol mólico de Chiapas, México. *Interciencia*, 33(11), 860-855. <https://www.redalyc.org/pdf/339/33913613.pdf>
- Instituto Colombiano Agropecuario [ICA]. (1984). Resolución 1696 del 6 de agosto de 1984. “Por la cual se adoptan requisitos fitosanitarios para la producción de semilla de caña”. <https://www.ica.gov.co/getattachment/478f0027-2062-4a2f-9011-9c592fdd2376/1984R1696.aspx>



- Instituto Colombiano Agropecuario [ICA]. (2015). Resolución 3168 de 2015. “Por medio de la cual se reglamenta y controla la producción, importación y exportación de semillas producto del mejoramiento genético para la comercialización y siembra en el país, así como el registro de las unidades de evaluación agronómica y/o unidades de investigación en fitomejoramiento y se dictan otras disposiciones”. <https://www.ica.gov.co/normatividad/normas-ica/resoluciones-oficinas-nacionales/2015/2015r3168.aspx>
- Instituto Colombiano Agropecuario [ICA]. (2015a). Resolución 681 del 3 de marzo de 2015. “Por la cual se otorga el registro de la variedad de caña panelera Pierna Bella de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria, en el Registro Nacional de Cultivares Comerciales del ICA, para que pueda ser comercializada en la Subregión Natural Hoya del Río Suárez”.
- Instituto Colombiano Agropecuario [ICA]. (2015b). Resolución 3168 del 1 de septiembre de 2015. “Por medio de la cual se reglamenta y controla la producción, importación y exportación de semillas producto del mejoramiento genético para la comercialización y siembra en el país, así como el registro de las unidades de evaluación agronómica y/o unidades de investigación en fitomejoramiento y se dictan otras disposiciones”.
- Instituto Colombiano Agropecuario [ICA]. (2017). Resolución 7509 del 21 de junio de 2017. “Por la cual se otorga ampliación del registro de la variedad de caña panelera Pierna Bella de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria, en el Registro Nacional de Cultivares Comerciales del ICA, para las zonas naturales Montaña Antioqueña, Montaña Santandereana y departamentos de Cundinamarca y Tolima”.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales [IDEAM]. (2017). *Validación de las fórmulas de evapotranspiración de referencia (ET₀) para Colombia* [Nota técnica]. Subdirección de Meteorología. [http://www.ideam.gov.co/documents/21021/21147/Evapotranspiracion+de+Referencia+ETo+para+Colombia.pdf/12700c18-c492-40cc-8971-46f48f144824#:~:text=Evapotranspiraci%C3%B3n%20Potencial%20\(ETP\)%3A%20Es,de%20agua%20suministrada%20al%20suelo](http://www.ideam.gov.co/documents/21021/21147/Evapotranspiracion+de+Referencia+ETo+para+Colombia.pdf/12700c18-c492-40cc-8971-46f48f144824#:~:text=Evapotranspiraci%C3%B3n%20Potencial%20(ETP)%3A%20Es,de%20agua%20suministrada%20al%20suelo)



- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales [IDEAM]. (2021). Evapotranspiración potencial o de referencia (ET_o). http://atlas.ideam.gov.co/basefiles/evapotranspiracion_texto.pdf
- Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura [IICA]. (2020, 15 de septiembre). Políticas públicas para los bioinsumos: hacia un espacio de intercambio en América Latina y El Caribe. <https://blog.iica.int/blog/politicas-publicas-para-los-bioinsumos-hacia-un-espacio-intercambio-en-america-latina-caribe>
- Insuasty Burbano, O., Manrique, R., & Palacio, O. (2000). *La resiembra: Una práctica regenerativa en cultivos de caña panelera*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria-AGROSAVIA. <http://hdl.handle.net/20.500.12324/17948>
- Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC]. (2014). *Cambio climático 2014: Informe de síntesis. Resumen para responsables de políticas*. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/AR5_SYR_FINAL_SPM_es.pdf
- Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC]. (2018). Annex I: Glossary [Matthews, J.B.R. (ed.)]. En *Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate*. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/06/SR15_AnnexI_Glossary.pdf
- Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC]. (2021). *Climate Change 2021: The physical science basis*. https://report.ipcc.ch/ar6/wg1/IPCC_AR6_WGI_FullReport.pdf
- International Advisory Council of the Global Bioeconomy Summit [IAC-GBC]. (2018). *Global Bioeconomy Summit Conference Report. Innovation in the Global Bioeconomy for Sustainable and Inclusive Transformation and Wellbeing*. https://gbs2020.net/wp-content/uploads/2021/10/GBS_2018_Report_web.pdf
- Jaramillo, R. I. (2011). La micorriza arbuscular (MA) centro de la rizosfera: Comunidad microbiológica dinámica del suelo. *Revista Contactos*, 81, 17-23. <http://www2.izt.uam.mx/newpage/contactos/revista/81/pdfs/micorriza.pdf>



- Lagos-Burbano, E., & Castro-Rincón, E. (2019). Caña de azúcar y subproductos de la agroindustria azucarera en la alimentación de rumiantes. *Agronomía Mesoamericana*, 30(3), 917-934. <https://doi.org/10.15517/am.v30i3.34668>
- Larrahondo, A. J., & Villegas, T. F. (1995). Control y características de maduración. En Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia (Cenicaña), *El cultivo de la caña en la zona azucarera de Colombia* (pp. 297-313). https://www.cenicana.org/pdf_privado/documentos_no_seriados/libro_el_cultivo_cana/libro_p297-313.pdf
- Lastra-Borja, A. (2018). Larvas de *C. flavipes* de último instar abandonando el hospedero *D. saccharalis* [Foto]. En A. Cotes (Ed.), *Control biológico de fitopatógenos, insectos y ácaros* (vol. 1, p. 517). Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria-AGROSAVIA. <https://doi.org/10.21930/agrosavia.investigation.7402537>
- Lee, Y. S., & Hoy, J. W. (1992). Interactions among *Pythium* species affecting root rot of sugarcane. *Plant Disease*, 76(7), 735-739. https://www.apsnet.org/publications/plantdisease/backissues/Documents/1992Articles/PlantDisease76n07_735.pdf
- Löhr, B., Díaz-Niño, M., Manzano, M., Narváez-Vásquez, C., Gómez-Jiménez, M., Carabalí, A., Vargas, G., Kondo, T., & Bustillo-Pardey, A. (2018). *Uso de parasitoides en el control biológico de insectos plaga en Colombia*. En A. Cotes (Ed.), *Control biológico de fitopatógenos, insectos y ácaros* (vol. 1, pp. 489-543). Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria-AGROSAVIA <https://doi.org/10.21930/agrosavia.investigation.7402537>
- López, J. G. (2015). *Manejo agronómico del cultivo de la caña de azúcar para panela en Antioquia*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria-AGROSAVIA. <http://hdl.handle.net/20.500.12324/1957>
- López, J. G., & Osorio, J. G. (2000). *Manejo agronómico y beneficio de la caña panelera* [Memorias]. Proyecto Fortalecimiento y Capacitación Técnico Empresarial para Cuatro Microempresas Agroindustriales del Municipio de Granada (Antioquia). <http://bibliotecadigital.agronet.gov.co/bitstream/11348/4091/1/068.pdf>



- López, J. G., Deantonio-Flrido, L. Y., & Barona, A. F. (2020). *Especies vegetales utilizadas en la clarificación de los jugos de caña para la elaboración de panela*. [Video]. Biblioteca Agropecuaria de Colombia, Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria-AGROSAVIA. <http://hdl.handle.net/20.500.12324/36495>
- López, J. G., Delgado, C. A., & Osorio, G. (2005). *Conservación, siembra, manejo y utilización de las especies aglutinantes más importantes en la agroindustria panelera*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria-AGROSAVIA y Corporación Autónoma Regional del Centro de Antioquia-Corantioquia. <http://hdl.handle.net/20.500.12324/1234>
- López-Lopera, J. G., Tamayo-Vélez, A., Insuasty Burbano, O. I., Ramírez-Durán, J., Barona-Rodríguez, A. F., & Viveros-Valens, C. A. (2019). Evaluación de variedades de caña de azúcar para la producción de panela en el departamento de Antioquia. En C. Viveros-Valens (Ed.), *Variedades de caña de azúcar Cenicaña Colombia (CC) evaluadas en las zonas paneleras de Colombia* (pp. 55-68). Federación Nacional de Productores de Panela (Fedepanela); Centro de Investigación de la Caña de Azúcar (Cenicaña); Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria-AGROSAVIA. https://www.cenicana.org/wp-content/uploads/2019/10/Variedades_ca%C3%B1a_azucar_cc_zona_panelera.pdf
- Luna-Geller, L., & Bolaños-Benavides, M. (2007). *Producción de abonos orgánicos de buena calidad*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria-AGROSAVIA. <http://hdl.handle.net/20.500.12324/2167>
- Maldonado, F. G., Santana, M. N., & Jiménez, J. D. (2006). *Prácticas sostenibles en el sistema productivo de caña panelera*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria-AGROSAVIA. <http://hdl.handle.net/20.500.12324/2143>
- Manrique Estupiñán, R., Insuasty Burbano, O., Ramírez-Durán, J., Murcia Pardo, M. L., Bayona, A. M., Kopp Sanabria, E., & Alfonso Mora, M. A. (2010). Módulo 1: Establecimiento de cultivo y levante de socas [Curso virtual]. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria-AGROSAVIA y Universidad de Pamplona. https://www.unipamplona.edu.co/unipamplona/portallG/home_4/mod_virtuales/modulo1/glosario3.html#inicio



- Manrique Estupiñán, R., Insuasty-Burbano, O. I., Mora Padilla, C. J., Rodríguez-Borray, G. A., Blanco Suárez, R., Mejía Flórez, L., Pinto, J. L., & Sandoval Sandoval, G. (1997). *Manual de caña de azúcar para la producción de panela*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria. <http://hdl.handle.net/20.500.12324/18504>
- Manrique, E. R., & Insuasty, O. (2000). *Programa de procesos agroindustriales*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria-AGROSAVIA.
- Martínez-Fernández, E., Martínez-Jaimes, P., Guillén-Sánchez, D., Peña-Chora, G., & Hernández-Hernández, V. M. (2015). Diversidad de *Fusarium* en las raíces de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) en el estado de Morelos, México. *Revista Mexicana de Micología*, 42, 33-43. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-31802015000200006
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural [MADR]. (2020). Cadena agroindustrial de la panela [Diapositivas]. <https://sioc.minagricultura.gov.co/Panela/Documentos/2021-06-30%20Cifras%20Sectoriales.pdf>
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural [MADR]. (2021a). Cadena agroindustrial de la panela. Sistema de Información de Gestión de Organizaciones de Cadenas. https://sioc.minagricultura.gov.co/Pages/SiocTemp/Agricolas_temp.aspx
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural [MADR]. (2021b, 15 de febrero). Minagricultura anuncia línea de crédito para financiar proyectos de recuperación en zonas con deforestación. <https://www.minagricultura.gov.co/noticias/Paginas/lnea-de-crEdito-para-financiar-proyectos-de-recuperacion-en-zonas-con-deforestacion.aspx#:~:text=15%2F02%2F2021-,Minagricultura%20anuncia%20l%C3%ADnea%20de%20cr%C3%A9dito%20para%20financiar,recuperaci%C3%B3n%20en%20zonas%20con%20deforestaci%C3%B3n&text=Se%20podr%C3%A1n%20beneficiar%20de%20esta,tasa%20de%20inter%C3%A9s%20de%204%25.>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible [MADS]. (2021). Colombia inicia acciones para la gestión sostenible de la biomasa residual. <https://www.minambiente.gov.co/asuntos-ambientales-sectorial-y-urbana/colombia-inicia-acciones-para-la-gestion->



sostenible-de-la-biomasa-residual/#:~:text=Colombia%20inicia%20acciones%20para%20la%20gesti%C3%B3n%20sostenible%20de%20la%20biomasa%20residual,-%E2%80%A2&text=Los%20sectores%20agr%C3%ADcola%20y%20pecuario,junio%20de%202021%20%2DMADS%2D.

Moisset, B. (2009). Recently emerged adult *Cotesia* wasp from cocoons on *Tradescantia virginiana*. Pennypack Restoration Trust, Montgomery County, Pennsylvania, USA. [Foto]. https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Cotesia_adult.jpg

Morgado González, A., Espinosa Victoria, D., & Gómez Merino, F. C. (2015). Efficiency of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) in sugarcane. *Terra Latinoamericana*, 33(4), 321-330. <http://www.scielo.org.mx/pdf/tl/v33n4/2395-8030-tl-33-04-00321.pdf>

Moya Álvarez, L. A. (1997). *Potencial de las bacterias fijadoras de nitrógeno en el cultivo de la caña panelera*. Programa Regional Agrícola Regional Uno, Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria-AGROSAVIA. <http://hdl.handle.net/20.500.12324/20417>

Mundobiotec. (2020). Portafolio bio. <https://mundobiotec.com/portafolio-bio-minciencias/>

Murcia Pardo, M. L., & Ramírez Durán, J. (2015). *Producción y manejo de semilla de caña panelera*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria-AGROSAVIA. <http://hdl.handle.net/20.500.12324/34328>

Murcia, M. L., & Ramírez, J. (2014). *Implementación del sistema de producción de plantas de caña de azúcar para el establecimiento de semilleros básicos y comerciales*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria-AGROSAVIA. <http://hdl.handle.net/20.500.12324/1069>

Murcia-Pardo, M. L., & Ramírez-Durán, J. (2017). Reconversión del sistema regional de producción de semilla de caña para la agroindustria panelera en Boyacá y Santander. *Revista Ciencia & Tecnología Agropecuaria*, 18(1), 75-87. https://doi.org/10.21930/rcta.vol18_num1_art:559



- Obando, J. A., Bustillo, A. E., Castro, U., & Mesa, N. C. (2013). Selección de cepas de *Metarhizium anisopliae* para el control de *Aeneolamia varia* (Hemiptera: Cercopidae). *Revista Colombiana de Entomología*, 39(1), 26-33. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-04882013000100005&lng=en&tlng=es
- Odum, A. (2000). Fundamentals of Ecology. *Annual Reviews of Ecology and Systematics*, 54, 546.
- Organización Meteorológica Mundial [OMM]. (2013). Declaración de la OMM sobre el estado del clima mundial en 2012. https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=7810
- Osorio, G. (2007). *Manual técnico de Buenas Prácticas Agrícolas (BPA) y Buenas Prácticas de Manufactura (BPM) en la producción de caña y panela*. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO); Gobernación de Antioquia; MANA; Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria-AGROSAVIA. <https://repository.agrosavia.co/handle/20.500.12324/18313>
- Pabón, J. D., & Montealegre, J. E. (2017). *Los fenómenos de El Niño y de La Niña: su efecto climático e impactos socioeconómicos*. Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. <https://repositorio.accefyn.org.co/handle/001/113>
- Pachón, F., Tovar, G., Urbina, N., & Martínez, N. (2005). Uso de subproductos de caña panelera como suplemento alimenticio para ganado bovino y para evitar la contaminación ambiental. *Revista de la Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia*, 52(1), 79-90. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/remevez/article/view/17903/18806>
- Pájaro-Castro, N., & Olivero-Verbel, J. (2011). Química verde: Un nuevo reto. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 21(2), 169-182. <https://www.redalyc.org/pdf/911/91123440009.pdf>
- Pérez, M., Ruiz, D., Schneider, M., Autino, J., & Romanell, G. (2013). La química verde como fuente de nuevos compuestos para el control de plagas agrícolas. *Ciencia en Desarrollo*, 4(2), 83-9. <http://www.scielo.org.co/pdf/cide/v4n2/v4n2a10.pdf>



- Pohjoismäki, J. (2008). *Billaea* sp. [Foto]. https://en.wikipedia.org/wiki/Billaea#/media/File:Billaea_triangulifera_01.jpg
- Porter, M. E. (2007). La ventaja competitiva de las naciones. *Harvard Business Review*, 85(11), 69-95. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2469800>
- Prada, L. (2002). *Mejoramiento en la calidad de miel y panela*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria-AGROSAVIA. <https://repository.agrosavia.co/handle/20.500.12324/17691>
- Quezada-Moreno, W. (2007). *Guía técnica de agroindustria panelera*. Ibarra-Ecuador.
- Ramírez Gómez, M. M., Peñaranda Rolón, A. M., Serralde Ordóñez, D. P., & Pérez Moncada, U. A. (2020). *Producción y aplicación de hongos formadores de micorrizas en vivero de caña para panela. Manual práctico de uso*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria-AGROSAVIA. <https://doi.org/10.21930/agrosavia.manual.7403732>
- Ramírez-Durán, J., Cañar-Serna, D., Deantonio-Florido, L., & Hernández-Nopsa, J. (2019). *Manual técnico para la producción de plántulas de caña de azúcar para panela a partir de yemas individuales bajo las condiciones agroecológicas del municipio de Barbosa (Santander)*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria-AGROSAVIA. <https://doi.org/10.21930/agrosavia.manual-17>
- Ramírez-Durán, J., Insuasty Burbano, O., & Murcia-Pardo, M. L. (2014). *Variedades de caña de azúcar empleadas para la agroindustria panelera de Colombia*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria-AGROSAVIA. <http://hdl.handle.net/20.500.12324/12621>
- Restrepo-Franco, G. M., Marulanda-Moreno, S., De la Fe-Pérez, Y., Díaz-de la Osa, A., Lucía-Baldani, V., & Hernández-Rodríguez, A. (2015). Bacterias solubilizadoras de fosfato y sus potencialidades de uso en la promoción del crecimiento de cultivos de importancia económica. *Revista CENIC. Ciencias Biológicas*, 46(1), 63-76. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=181238817006>



- Rodríguez-Borray, G., Huertas-Carranza, B., Polo-Murcia, S., González-Chavarro, C., Tauta-Muñoz, J., Rodríguez-Cortina, J., Ramírez-Durán, J., Velásquez-Ayala, F., Espitia-González, J., & López-Zarazá, R. (2020). *Modelo productivo de la caña de azúcar (Saccharum officinarum) para la producción de panela en Cundinamarca*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria-AGROSAVIA. <https://doi.org/10.21930/agrosavia.model.7403305>
- Sage, R. F., Peixoto, M. M., & Sage, T. L. (2014). Photosynthesis in Sugarcane. En P. H. Moore & F. C. Botha (Eds), *Sugarcane: Physiology, Biochemistry, and Functional Biology* (1.a ed.). John Wiley & Sons. <https://doi.org/10.1002/9781118771280>
- Saldaña-Chafloque, C. F., Ramírez-Cruz, A. F., & Chico-Ruíz, J. (2021). Parasitismo de *Billaea claripalpis* sobre larvas de *Diatraea saccharalis* en condiciones de campo. *Rebiol*, 41(1), 49-58. <http://dx.doi.org/10.17268/rebiol.2021.41.01.05>
- Samuels, G. (1979). *The use of residues from sugar cane factory and destillery for fertilizers*.
- Sierra, O. (1981). *Valor nutritivo y utilización de la caña de azúcar y sus productos en la alimentación animal*. Instituto Colombiano Agropecuario (ICA). <http://hdl.handle.net/20.500.12324/22259>
- Sierra-Cárdenas, D. L. (2010). *Relación de la captura de carbono en Saccharum officinarum con otros factores ambientales para el cultivo de caña panelera* [Tesis de maestría, Universidad Nacional de Colombia]. Repositorio UN. <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/6734/905016.2010.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Six, J., Feller, C., Denef, K., Ogle, S. M., de Morales, J. C., & Albrecht, A. (2002). *Soil organic matter, biota and aggregation in temperate and tropical soils-effects of no tillage*. *Agronomie*, 22, 755-775.
- Smith, C. M. (2005). *Plant resistance to arthropods: Molecular and conventional approaches*. Springer. <https://doi.org/10.1007/1-4020-3702-3>



- Soto Giraldo, A., & Cardona, L. F. (2015). Susceptibilidad de *Diatraea saccharalis* (F) (Lepidoptera: Crambidae) a diferentes hongos entomopatógenos en caña panelera. *Bol. Cient. Mus. Hist. Nat. U. de Caldas*, 19(2), 95-103. <http://www.scielo.org.co/pdf/bccm/v19n2/v19n2a06.pdf>
- Tarazona-Parra, A. (2011). *Manejo fitosanitario del cultivo de la caña panelera: Medidas para la temporada invernal*. Instituto Colombiano Agropecuario (ICA). <https://www.ica.gov.co/getattachment/6a54658e-1723-488d-a7ab-2f4baad793cb/Manejo-fitosanitario-del-cultivo-de-la-cana-panele.aspx>
- Tauta-Muñoz, J., Camacho-Tamayo, J., & Rodríguez-Borray, G. (2018). Estimación de erosión potencial bajo dos sistemas de corte de caña panelera utilizando la ecuación universal de pérdida de suelos. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 21(2), 405-413. <https://doi.org/10.31910/rudca.v21.n2.2018.1074>
- Torres, J. S., Cruz, R., & Villegas, F. (2004). *Avances técnicos para la programación y el manejo del riego en caña de azúcar* (2.a ed.). Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia (Cenicaña). https://www.cenicana.org/pdf_privado/serie_tecnica/st_33/st_33.pdf
- Toscano, A. (2006). Programa de procesos agroindustriales. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria, Centro de Investigación Tibaitatá. Mosquera, Cundinamarca (Colombia).
- Unidad de Planificación Rural Agropecuaria [UPRA]. (2021, 7 de abril). Con cerca de 500 años de historia, el cultivo de caña de azúcar para panela en Colombia revela su potencial. UPR. [https://www.agronet.gov.co/Noticias/Paginas/Con-cerca-de-500-a%C3%B1os-de-historia,-el-cultivo-de-ca%C3%B1a-de-az%C3%BAcar-para-panela-en-Colombia,-revela-su-potencial.aspx#:~:text=07%2F04%2F2021-,Con%20cerca%20de%20500%20a%C3%B1os%20de%20historia%2C%20el%20cultivo%20de,en%20Colombia%2C%20revela%20su%20potencial&text=La%20Unidad%20de%20Planificaci%C3%B3n%20Rural,de%20panela%20\(Saccharum%20officinarum\)](https://www.agronet.gov.co/Noticias/Paginas/Con-cerca-de-500-a%C3%B1os-de-historia,-el-cultivo-de-ca%C3%B1a-de-az%C3%BAcar-para-panela-en-Colombia,-revela-su-potencial.aspx#:~:text=07%2F04%2F2021-,Con%20cerca%20de%20500%20a%C3%B1os%20de%20historia%2C%20el%20cultivo%20de,en%20Colombia%2C%20revela%20su%20potencial&text=La%20Unidad%20de%20Planificaci%C3%B3n%20Rural,de%20panela%20(Saccharum%20officinarum))



- United States Department of Agriculture [USDA]. (2021). *Native, invasive, and other plant-related definitions*. Natural Resources Conservation Service, USDA (APHIS). https://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/detail/ct/technical/ecoscience/invasive/?cid=nrcs142p2_011124
- Valladares, F., & Niinemets, Ü. (2008). Shade tolerance, a key plant feature of complex nature and consequences. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 39, 237-257. <https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.39.110707.173506>
- Vessey, J. K. (2003). Plant growth promoting rhizobacteria as biofertilizers. *Plant Soil*, 255, 571-586. <https://doi.org/10.1023/A:1026037216893>
- Viveros-Valens, C. A., Cassalet, C., & Victoria, J. I. (1997). *Multiplicación rápida de la caña de azúcar por el sistema de plántulas* [Serie técnica n.º 23]. Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia (Cenicaña). https://www.cenicana.org/pdf_privado/serie_tecnica/st_23/st_23.pdf
- Viveros-Valens, C., Barona- Rodríguez, A. F., Ramírez-Durán, J., & Insuasty Burbano, O. I. (2019). *Caracterización agroindustrial de variedades de caña de azúcar para la producción de panela en la hoya del río Suárez*. En C. A. Viveros-Valens (Ed.), *Variedades de caña de azúcar Cenicaña Colombia* (CC) evaluadas en las zonas paneleras de Colombia (pp. 69 – 76). Federación Nacional de Productores de Panela (Fedepanela); Centro de Investigación de la Caña de Azúcar (Cenicaña); Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria-AGROSAVIA. https://www.cenicana.org/wp-content/uploads/2019/10/Variedades_ca%C3%B1a_azucar_cc_zona_panelera.pdf
- Volverás-Mambuscay, B., González-Chavarro, C. F., Huertas, B., Kopp-Sanabria, E., & Ramírez-Durán, J. (2020). Effect of the organic and mineral fertilizer on the performance of sugarcane yield in Nariño, Colombia. *Revista Agronomía Mesoamericana*, 31(3), 547-565. <https://doi.org/10.15517/am.v31i3.37334>
- Wilches-Ortiz, W. A., Ramírez-Gómez, M. M., Pérez-Moncada, U. A., Serralde-Ordoñez, D. P., Peñaranda-Rolon, D. P., & Ramírez, L. (2019). Asociación de hongos micorrízicos



arbusculares (HMA) con plantas de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) para la producción de panela en Colombia. *Terra Latinoamericana*, 37, 175-184. <https://doi.org/10.28940/terra.v37i2.481>

World Wide Fund for Nature [WWF]. (2018). Glosario ambiental: Servicios ecosis... ¿qué? <https://www.wwf.org.co/?324210/Glosario-ambiental-Servicios-ecosis-que>

Zúñiga-Oviedo, M. A., Soto-Giraldo, A., & Cruz-Cerón, G. (2016). Actividad biológica de hongos y bacterias entomopatógenas sobre *Diatraea saccharalis* Fabricius (Lepidoptera: Crambidae). *Boletín Científico Centro de Museos Museo de Historia Natural*, 20(2), 82-92. <https://doi.org/10.17151/bccm.2016.20.2.6>

Zúñiga-Oviedo, M., & Soto-Giraldo, A. (2018). Control microbiológico de *Diatraea saccharalis* Fabricius (Lepidoptera: Crambidae) en caña panelera a nivel de campo. *Boletín Científico Centro de Museos Museo de Historia Natural*, 22(2), 33-41. <https://doi.org/10.17151/bccm.2018.22.2.3>





Crecimiento verde y agricultura climáticamente inteligente en el cultivo de caña de azúcar (Saccharum officinarum L.) para la elaboración de panela es una publicación virtual, de fácil consulta, perteneciente a la colección *Crecimiento Verde*, creada como alternativa encaminada a la producción agropecuaria sostenible.



