

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

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

IMN

www.imn.ac.cr
2222-5616

Avenida 9 y Calle 17
Barrio Aranjuez,
Frente al costado Noroeste del
Hospital Calderón Guardia.
San José, Costa Rica

LAICA

www.laica.co.cr
2284-6000

Avenida 15 y calle 3
Barrio Tournón
San Francisco, Goicoechea
San José, Costa Rica

RESUMEN DE LAS CONDICIONES DE LA QUINCENA DEL 11 AL 24 DE SEPTIEMBRE 2023

En la figura 1 se puede observar, a partir de datos preliminares de 105 estaciones meteorológicas, el acumulado quincenal de lluvias sobre el territorio nacional.

Los promedios de lluvia acumulada a nivel diario varían según la región azucarera. Se tuvieron valores acumulados de lluvia diaria entre 0-7.7 mm en la **Región Guanacaste Este**, por su parte **Guanacaste Oeste** registró entre 0-19.25 mm, en la **Región Norte** se reportó entre 0-26,8 mm. La **Región Puntarenas** presentó entre 0-25.13 mm. La **Región Sur** mostró entre 0-54.3 mm, la **Región Turrialba** acumuló lluvias entre 0-11.36 mm, mientras la **Región Valle Central** tuvo entre 0.0-26.64 mm.

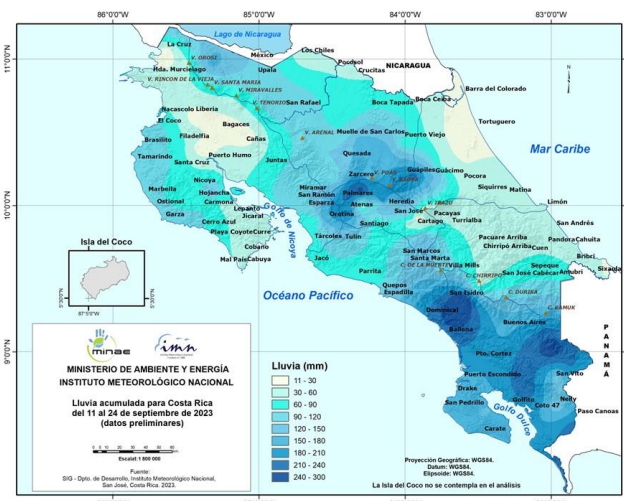


Figura 1. Valores acumulados de la precipitación (mm) durante la quincena del 11 al 24 de septiembre del 2023.

PRONÓSTICO PARA LAS REGIONES CAÑERAS DEL 25 DE SEPTIEMBRE AL 01 DE OCTUBRE

De la figura 2 a la figura 8, se muestran los valores diarios pronosticados de las variables lluvia (mm), velocidad del viento (km/h) y temperaturas extremas (°C) para las regiones azucareras.

Esta semana nuevamente aumentará paulatinamente las condiciones húmedas e inestables sobre el país, las cuales son debido a factores como: el arribo de la Onda Tropical 40 para el final de la tarde e inicios de la noche de este lunes, la activación de la Zona de Convergencia Intertropical en la semana al sur de la región y finalmente, la Onda Tropical # 41 estimada preliminarmente para el día jueves.

Es probable se acentúen aguaceros dispersos acompañados de tormenta eléctrica (de manera localizada de fuerte intensidad) en la vertiente Pacífico, el Valle Central y la Zona Norte. Las regiones Caribe presentarán dichas precipitaciones ocasionalmente hacia el centro, pero principalmente en sectores del oeste y partes montañosas.

Septiembre 2023 - Volumen 5 – Número 19

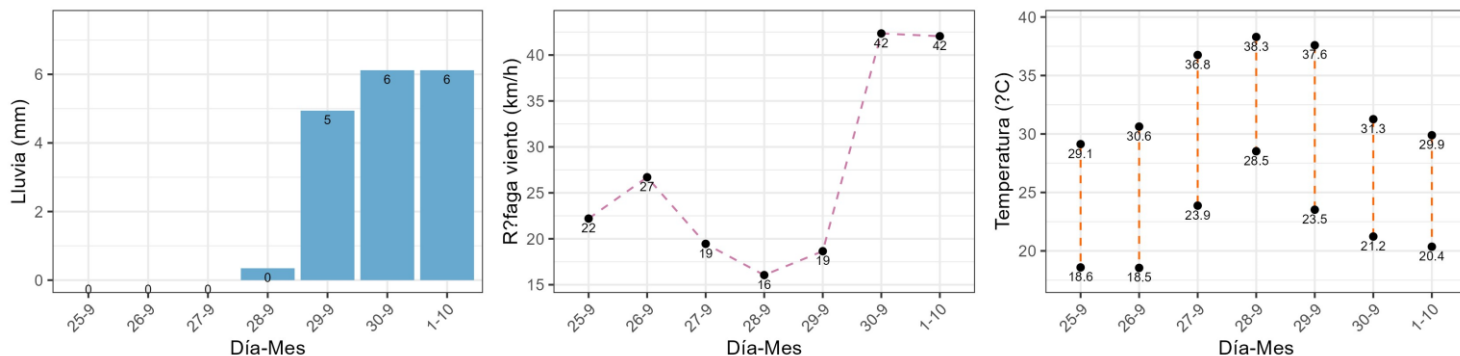


Figura 2. Pronóstico de precipitación (mm), viento (km/h) y temperatura (°C) del 25 de septiembre al 01 de octubre en la región cañera Guanacaste Este.

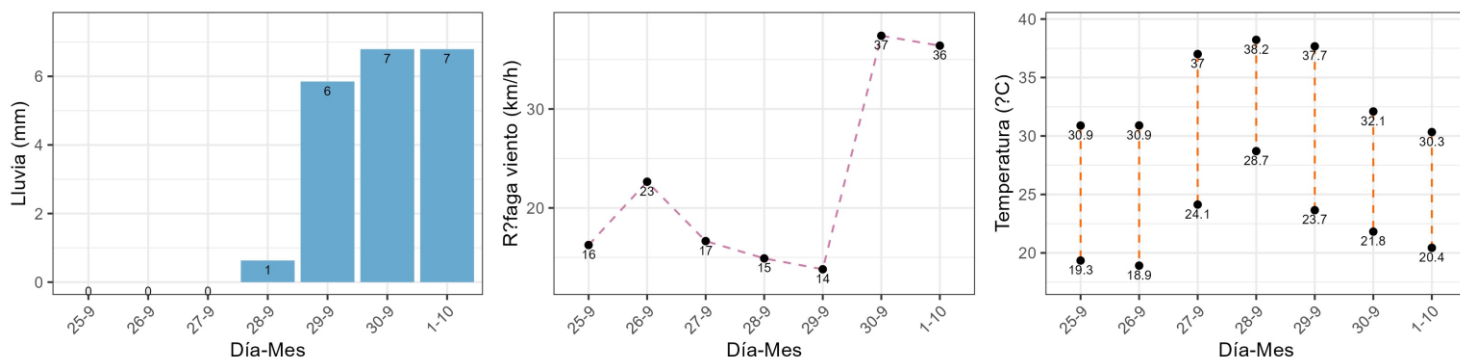


Figura 3. Pronóstico de precipitación (mm), viento (km/h) y temperatura (°C) del 25 de septiembre al 01 de octubre en la región cañera Guanacaste Oeste.

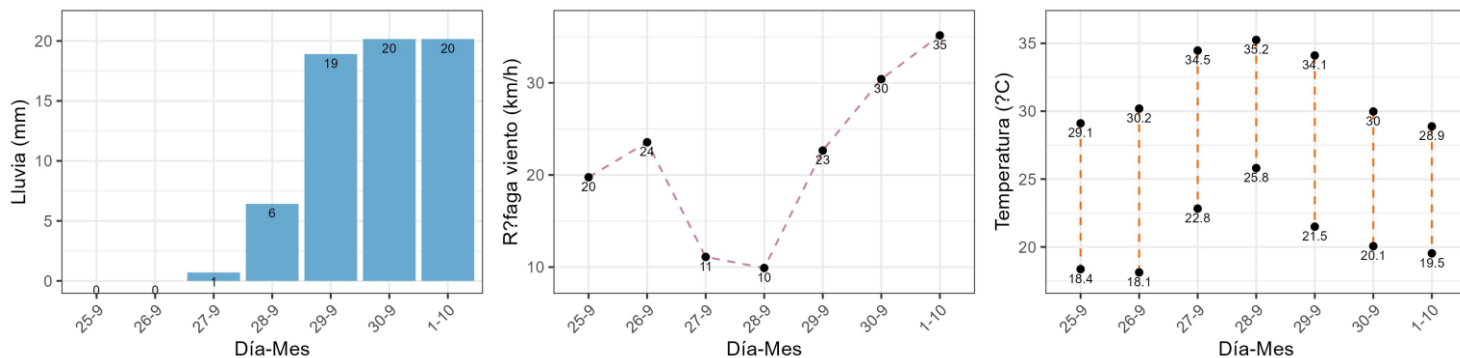


Figura 4. Pronóstico de precipitación (mm), viento (km/h) y temperatura (°C) del 25 de septiembre al 01 de octubre en la región cañera Puntarenas.

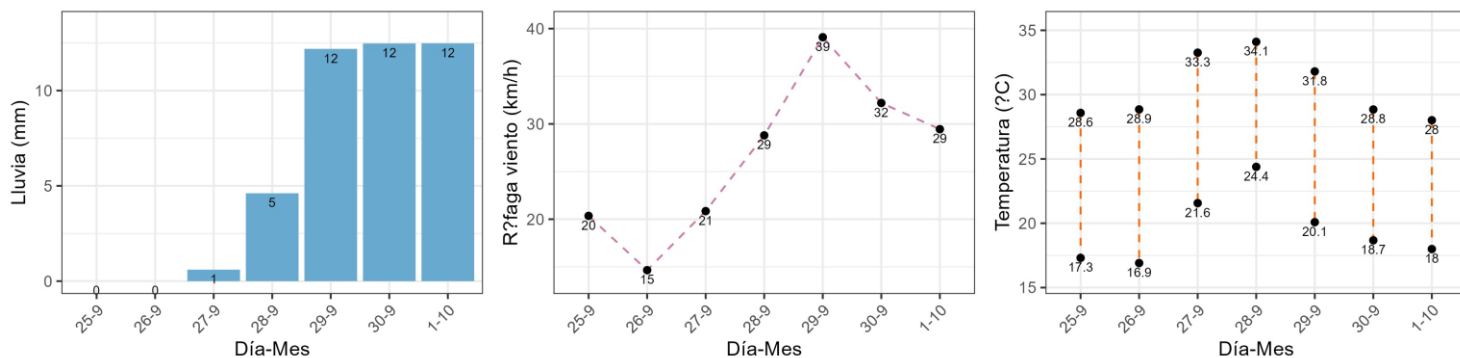


Figura 5. Pronóstico de precipitación (mm), viento (km/h) y temperatura (°C) del 25 de septiembre al 01 de octubre en la región cañera Región Norte.

Septiembre 2023 - Volumen 5 – Número 19

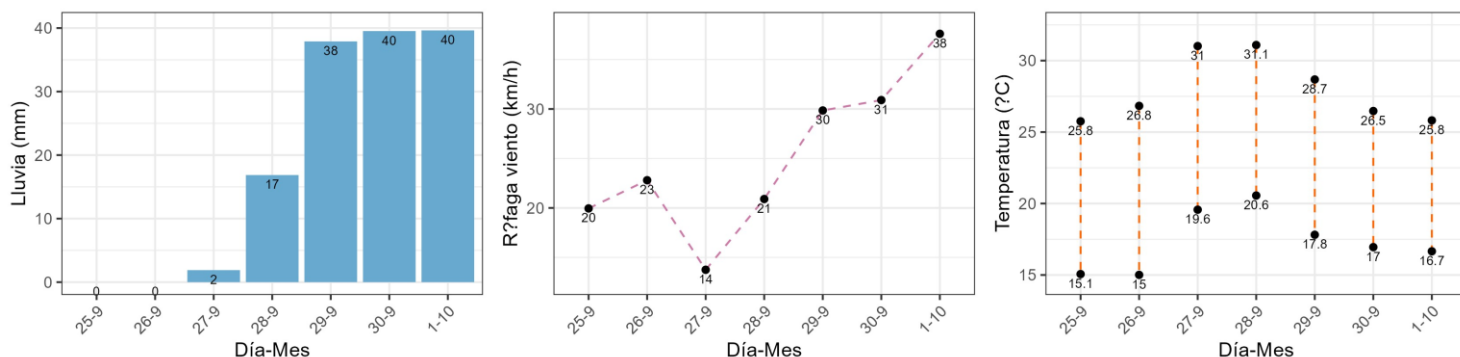


Figura 6. Pronóstico de precipitación (mm), viento (km/h) y temperatura (°C) del 25 de septiembre al 01 de octubre en la región cañera Valle Central (Este y Oeste).

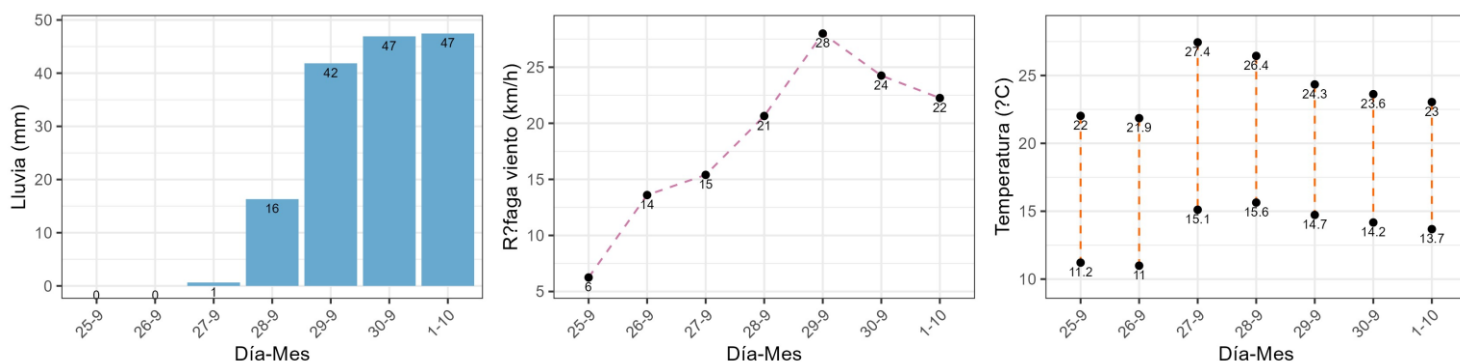


Figura 7. Pronóstico de precipitación (mm), viento (km/h) y temperatura (°C) del 25 de septiembre al 01 de octubre en la región cañera Turrialba (Alta y Baja).

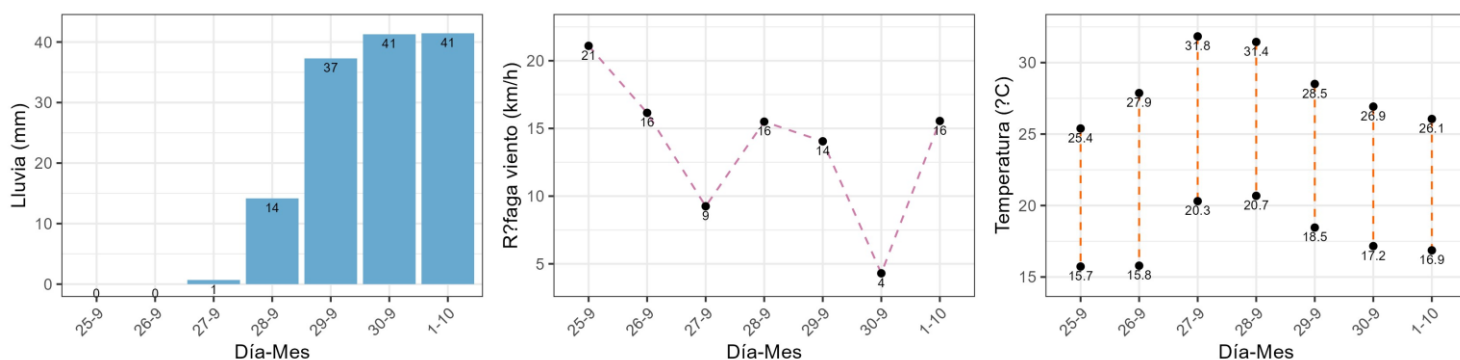


Figura 8. Pronóstico de precipitación (mm), viento (km/h) y temperatura (°C) del 25 de septiembre al 01 de octubre en la región cañera Región Sur.

TENDENCIA PARA EL PERIODO DEL 02 AL 08 DE OCTUBRE

Existe la probabilidad de que se mantenga la ocurrencia de precipitaciones en la vertiente Pacífico. No se descarta la presencia de días donde las lluvias se perciban reforzadas, generalizadas y alternadas con días en que éstas sean menos frecuentes, lo cual ha sido una característica de las precipitaciones en esta época lluviosa.

Septiembre 2023 - Volumen 5 – Número 19

HUMEDAD DEL SUELO ACTUAL PARA REGIONES CAÑERAS

De acuerdo con Central America Flash Flood Guidance System (CAFFG), el cual estima la humedad en los primeros 30 cm de suelo, durante el periodo del 18 al 24 de septiembre se tuvieron porcentajes altos de saturación en las regiones Guanacaste Oeste, Turrialba, Región Norte y Sur; en las demás regiones cañeras la humedad fue baja.

Como se observa en la figura 09, la Región Guanacaste Oeste presenta entre 30% y 75%, mientras que las regiones Guanacaste Este y Puntarenas tienen entre 30% y 60%. La Región Valle Central Oeste está entre 45% y 60%, la Región Valle Central Este presenta entre 30% y 60% de saturación.

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

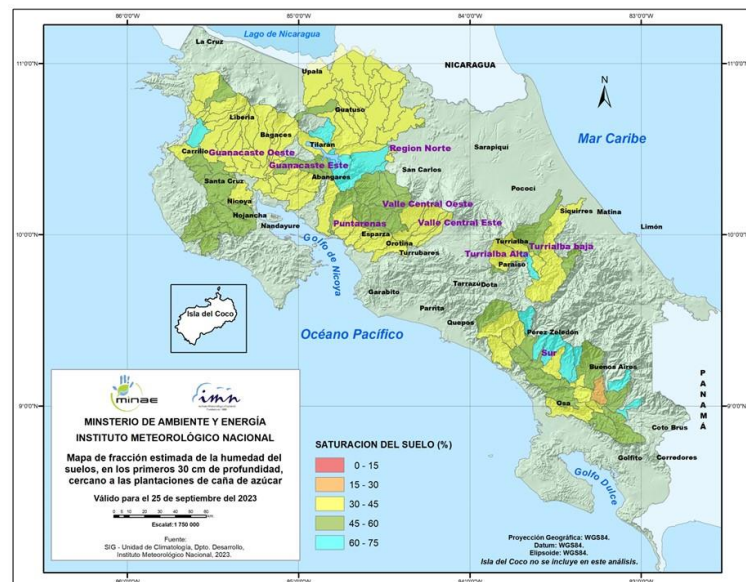


Figura 9. Mapa de fracción estimada de la humedad en porcentaje (%), en los primeros 30 cm de profundidad, cercano a las plantaciones de caña de azúcar, válido para el 25 de septiembre de 2023.

LAICA Y EL IMN LE RECOMIENDAN

Mantenerse informado con los avisos emitidos por el IMN en:

- @IMNCR
- Instituto Meteorológico Nacional CR
- www.imn.ac.cr

CRÉDITOS BOLETÍN AGROCLIMÁTICO

Producción y edición del Departamento de Desarrollo
 Meteoróloga Karina Hernández Espinoza
 Ingeniera Agrónoma Katia Carvajal Tobar
 Geógrafa Nury Sanabria Valverde
 Geógrafa Marilyn Calvo Méndez

Modelos de tendencia del Departamento de
 Meteorología Sinóptica y Aeronáutica

INSTITUTO METEOROLÓGICO NACIONAL

NOTA TÉCNICA

Uso de abono verde en el cultivo de la caña de azúcar: *potencial y condiciones para su empleo en Costa Rica*

Ing. Agr. Marco A. Chaves Solera, MSc.
 chavessolera@gmail.com
 Especialista cultivo de la caña de azúcar

Introducción

El dinámico crecimiento y obligado desarrollo que ha mantenido la agricultura en los últimos años procurando satisfacer las progresivas y cada vez más complejas demandas y necesidades alimentarias mundiales, tanto en cantidad como en calidad, ha traído como consecuencia casi inevitable, el uso de productos y la implementación de prácticas y labores que implican grandes riesgos y daños ambientales cuando se conducen y operan de manera indebida, con impericia y sin la responsabilidad y el cuidado requerido.

Esta realidad del mundo actual ha lamentablemente provocado grandes y profundas transformaciones con impactos de gran cuantía, muchos lamentablemente de carácter irreversible, por las características y magnitud de los cambios inducidos y provocados en los ecosistemas y paisajes naturales. Es un hecho comprobable que, en cualquier sistema de producción agropecuaria tradicional, evolucionado o no, es posible hoy día comprobar aportes valiosos y cosas buenas en asuntos muy puntuales; pero también, mayoritariamente, las lamentables consecuencias de un manejo tecnológico desmedido, sin previsión de las consecuencias futuras que los excesos, los intereses creados, los descuidos, la ignorancia, el irrespeto a las normas básicas y protocolos vigentes demandan. En una actitud desmedida por *“producir a cualquier precio, como sea y con lo que sea”*, muchos empresarios-agricultores recurren con conciencia propia o por delegación a sus administradores al empleo de insumos, equipos y prácticas poco o nada consecuentes con la estabilidad y mejora de un sistema frágil, sensible y fácilmente modificable como acontece con el entorno edafoclimático donde se desarrollan los proyectos agroproductivos.

La visión y propuesta de manejo agronómico fundamentado en criterios como los anteriormente expuestos, conducen inevitablemente al: a) empleo de insumos agrícolas sintéticos cada vez en mayor cantidad, concentración y frecuencia de aplicación; b) equipos mecánicos más sofisticados, de mayor dimensión y capacidad; c) sistemas de manejo más intensivos en el uso de los recursos disponibles y existentes; d) un mayor aprovechamiento del espacio físico existente; e) la fijación de metas con indicadores de rendimiento y productividad crecientes y cada vez más exigentes; f) el establecimiento de estándares de calidad elevados y g) requerimientos de inversión crecientes, entre otros condicionantes que resultan determinantes para procurar satisfacer los planes, programas, objetivos y metas trazadas.

Las consecuencias de esas conductas y modelos de manejo empresarial ciertamente válidas en sus fines y pretensiones económicas, merecen

sin embargo especial cuidado y atención en su implementación y, sobre todo, en sus efectos productivos, ecológicos y financieros inmediatos y particularmente futuros, cuando no se adoptan con la oportunidad debida y de manera sensata y juiciosa las medidas contingentes prudentiales de contención, amortiguamiento, conservación y mejoramiento continuo pertinentes y obligadas incorporar.

Como efectos y consecuencias del mal uso, la impericia o los excesos enunciados, es común encontrar en el campo situaciones paradójicamente poco contributivas al objetivo de crecimiento productivo pretendido lograr, como son entre otras las siguientes: a) degradación acelerada de los suelos, b) acidificación sistemática del substrato, c) compactación creciente, d) altos grados de erosión y pérdida de la irreparable capa arable, e) disminución acelerada de la fertilidad natural del terreno, f) incremento de las necesidades del recurso hídrico, g) pérdida de biodiversidad, h) afectación severa de la actividad biótica y microbial del suelo, i) contaminación de los suelos y fuentes de agua, j) necesidad de contar con materiales genéticos resilientes y de condiciones productivas validadas y superiores, k) calidad alimentaria cuestionable de muchos productos del campo, l) contribución directa con el indeseable cambio climático, m) pérdida irreparable de la belleza paisajística en detrimento directo de la calidad de vida y el ecoturismo, n) requerimientos de inversión crecientes y muy superiores a lo previsto para mantener alguna estabilidad en la producción y o) posible reducción de la tasa de rentabilidad final proyectada y esperada alcanzar (Chaves 2017, 2020bdeh).

Los eventos y consecuencias anteriores justifican y obligan a reflexionar y meditar profundamente sobre el verdadero potencial que posee la tecnología que se utiliza actualmente como factor de cambio positivo, la cual, reitero, no se debe fundamentar simplemente en adquirir equipos mecánicos sobredimensionados a las necesidades reales del campo, pensar en que empleando más agroquímicos y de mayor concentración más contribuyo con la productividad, aceptar que entre más movilizce y *“prepare”* el suelo mejor acondicionamiento le proveo al cultivo, trabajar bajo el principio de que *“a mayor intensidad mayor necesidad”*, hacer uso irracional e incorrecto del agua, concebir que los recursos naturales y los sistemas productivos son inagotables, insensibles e inalterables, desconocer la importancia y trascendencia de la microbiología de los suelos, no incorporar medidas de conservación de los recursos naturales, entre otros graves *“pecados”* tecnológicos.

No se piense tampoco que un sistema agroproductivo moderno, eficiente y competitivo no requiere utilizar agroquímicos, emplear y mecanizar procesos, preparar terrenos, aprovechar las nuevas y mejores

opciones genéticas disponibles, invertir en mejoras al sistema, ser ambientalmente equilibrado; todo eso es incuestionable e insoslayablemente válido y muy necesario, solo que incorporado e implementado de manera racional y prudente. Una gestión técnica y empresarial sería y responsable implica contar inexcusablemente con un conocimiento profundo del estado de situación del entorno y lugar donde se desarrollará el emprendimiento productivo. No se pueden ni deben fijar por estas y otras razones, metas productivas y estándares de calidad elevados donde las condiciones naturales, bióticas y abióticas aunadas a las financieras no lo potencian ni lo permiten, lo que deja en franca dependencia de los factores externos (agroquímicos, agua, variedades, equipos) su posible cumplimiento. La planificación, programación, valoración, debida presupuestación y correcta estimación, implementación y administración son los ingredientes que permiten desarrollar un proyecto agroproductivo con la viabilidad y la factibilidad técnico-económica necesaria y comprobada.

Con objetividad apunta Chaves (2020d) orientado al ámbito nacional, que *“En la caña de azúcar es una realidad que en Costa Rica la pérdida de potencial productivo de los suelos viene sucediendo y afectando, aunque algunos no quieran reconocerlo, lo cual se visualiza en la pérdida sistemática de productividad agrícola y acortamiento de la vida comercial utilitaria de las plantaciones, principalmente, y el aumento complementario de los costos asociados vinculados a gastos que buscan restituirla por medio del uso de insumos e intensificación del laboreo. El problema es serio y muy real y no imaginario, mediático o coyuntural”*.

Una verdad absoluta que debe el agroempresario atender y entender independientemente de sus calidades, es que *“tecnología agrícola moderna, eficiente y competitiva no es sinónimo necesariamente de equipos sofisticados, grandes inversiones, empleo desmedido de agroquímicos, fijación de expectativas productivas y financieras salidas de realidad”*. Por el contrario, la tecnología eficiente debe ser prudente y visionaria buscando aprovechar y maximizar los potenciales edafoclimáticos existentes en el entorno productivo, complementándolos en la medida necesaria con la satisfacción de los factores y elementos que se encuentren limitados; como también aquellos que logren establecer sinergismos (nunca antagonismos) que se traduzcan en mejores rendimientos, mayor estabilidad y sostenibilidad productiva en el tiempo, reducción del riesgo por posibles impactos ambientales, menores costos implícitos y una tasa de retorno elevada acorde con la inversión realizada siempre en armonía con la naturaleza. Aplican en este caso los conceptos de optimización productiva, ecoeficiencia y eco-competitividad.

En esa novedosa, correcta y acertada orientación agroproductiva se han venido promoviendo y gestionando cada vez con mayor intensidad y aceptación en los últimos años por parte de técnicos, empresarios y agricultores, nuevas formas de atender las necesidades básicas de los cultivos sin afectar e impactar negativamente el ecosistema ni tampoco la producción. El uso de plantas asociadas o consociadas considera en esta nueva visión el empleo de distintas combinaciones vegetales, principalmente plantas leguminosas, que se establecen conforme a las características de los ambientes, el clima, la composición del suelo, el tipo de explotación y las necesidades del productor. Es una práctica de campo que permite sembrar dos o más cultivos en estrecha proximidad,

buscando en el caso particular de la caña de azúcar atender necesidades ambientales, nutricionales y de conservación, entre otras, como lo apuntara Chaves (2020g).

Con el objetivo primario de analizar y comentar de manera crítica y objetiva sobre la incorporación y el empleo complementario y suplementario de plantas benéficas al ecosistema de la caña de azúcar con fines nutricionales y ambientales, se valora en el presente artículo el uso del denominado *“abono verde”* como técnica agrícola para promover el mejoramiento de las plantaciones comerciales de caña en Costa Rica; todo en un ámbito de realidades técnicas y financieras locales.

¿Qué es abono verde?

Como es esperable encontrar en el campo de las definiciones etimológicas, el término tiene diferentes acepciones las cuales son sin embargo conceptualmente similares en su significado genérico, aunque algunas fuentes opinan con buen criterio que hay poco consenso para definir y nombrar una planta como abono verde. García y compañeros (1997) expresaron de manera simple, que *“Los abonos verdes son plantas que si se manejan adecuadamente no compiten ni le roban al cultivo, nutrimentos, luz ni agua”*; lo que es secundado por Cuellar et al (2002) al ubicarlas como *“Plantas que se cultivan para incorporar al suelo y mejorar su fertilidad. Comúnmente leguminosas”*. Quirós et al (1998) consideran por su parte *“como abono verde a una planta leguminosa que se siembra para ser dejada sobre el terreno o incorporada, con el propósito principal de proporcionar materia orgánica y nitrógeno al sistema. Este nitrógeno debe provenir en buena parte de la atmósfera”*. Chávez (1986) razonó que abono verde *“Consiste en la práctica de incorporar al suelo una masa vegetal descompuesta de plantas cultivadas, locales o importadas, con la finalidad de preservar o restaurar la capacidad o propiedad productiva de las tierras agrícolas.”*

Para Espíndola et al (1989) la *“fertilización verde se constituye en la utilización de plantas (en general leguminosas), con la finalidad de preservar o mejorar la fertilidad del suelo y la productividad de los cultivos”*. Según Adução Orgânica (1986) *“Son llamados abonos verdes aquellas plantas cultivadas para ser incorporadas al suelo como fuente de materia orgánica. Ellas son el abono orgánico por excelencia para los cultivos extensivos que ocupan grandes áreas, pues pueden ser producidos a un costo bajo en el propio lugar de aplicación. La composición química de estos residuos vegetales varía con el tipo de material, siendo que las leguminosas son las más comúnmente empleadas- aunque otras especies, principalmente las gramíneas, sean también utilizadas”*.

En Costa Rica (2001a) se dice que abono verde *“Es el cultivo o la vegetación de cobertura que se deja hasta su floración o un poco antes, se corta y se incorpora al suelo, con el objetivo de aumentar el contenido de materia orgánica del mismo.”*; describiendo asimismo en Costa Rica (2001b) *“los abonos verdes, como las leguminosas fijadoras de nitrógeno, entre ellas: frijoles, vainicas, arvejas, cubás, trébol, gandul, crotalaria, kudzú, mucuna y canavalia. También se utilizan zacates, como el gigante, estrella, grama y otros.”*

De acuerdo con un criterio pragmático de Chaves (2020g) *“se denomina abono verde a las plantas que son cultivadas con el objeto de incrementar el potencial productivo de un suelo mediante el enterramiento e incorporación de la biomasa vegetal producida o traída de áreas vecinas.”*

Se dice también que *“El Abono verde o abonado en verde es la utilización de cultivos de vegetación rápida, que se cortan y se entierran en el mismo lugar donde han sido sembrados.”*

Virtud de su trascendencia para los fines comprensivos procurados y pretendidos abordar por el presente texto *“resulta necesario distinguir entre lo que son abonos verdes y abonos orgánicos, pues hay diferencias de fondo entre ambos conceptos que es importante tener claro. Los abonos orgánicos corresponden a materiales de origen natural y composición orgánica formulados y empleados para adicionar con fines productivos, nutricionales y mejoradores del suelo (Cuellar et al 2003 y Velarde et al 2004). La idea primordial es hacer uso de los residuos y desechos de origen animal y vegetal que quedan en el campo y que muchas veces se pierden por no ser recolectados, tratados y reciclados de nuevo dentro del sistema, o en su caso, ser quemados. Hay diferentes tipos de abonos orgánicos en presentaciones comerciales variables, como son: compost, biofermentos, bocashi, lombricompost, vermicompost, extractos orgánicos (algas), biofertilizantes y hasta ácidos húmicos y fúlvicos, entre otros. Hoy día se cuenta con otro recurso muy interesante y efectivo para incrementar los contenidos de carbono orgánico y mejorar las condiciones fisicoquímicas y microbiológicas del suelo, como acontece con el denominado “Biochar” del cual DIECA adquirió e instaló recientemente una planta que pronto iniciará su producción”, como fuera anotado por Chaves (2020g).*

Imperativo cambiar para mejorar, pero ¡cuidado!

Como se mencionó al inicio, muchas de las prácticas y labores agrícolas que de manera habitual se realizan actualmente en los sistemas convencionales de manejo de plantaciones comerciales de caña de azúcar en el país, aún las tecnológicamente más desarrolladas, han venido de manera sistemática y silenciosa conduciendo al productor nacional a fomentar y consolidar una inconveniente dependencia de los recursos proveídos por agentes externos cuyo interés es en muchos casos enteramente de índole comercial mercantilista. Como apuntara Chaves (2020d) con sentido crítico al respecto, esa forma de actuar en torno al empleo de los recursos tecnológicos es en algunos casos *“excesivo por: a) ser innecesarios o no corresponder a realidades, b) no estar debidamente validados y comprobados lo que torna sus efectos especulativos, c) el valor agregado y la tasa de retorno proveído medida en términos productivos y económicos no resulta favorable. Es necesario por esta razón revisar con criterio objetivo lo actuado en materia tecnológica hasta la fecha, retomar lo valioso, que hay mucho, y redireccionar donde sea necesario y pertinente otros asuntos procurando rescatar prácticas y conceptos que en su pureza y trasfondo científico no han cambiado con el tiempo, como acontece con el manejo de la materia orgánica, la microbiología de los suelos y el aprovechamiento de los residuos y desechos orgánicos, muchos de los cuales paradójicamente se*

generan en el mismo agro sistema y son precipitada e irreflexivamente retirados sin uso a un alto costo.”

Agrega de igual manera respecto al mismo tópico el autor, que *“Es importante comprender, liberándose de los preconceptos y falsas verdades técnicas que por décadas han contaminado la libre observación de los sistemas de producción agropecuaria, entre ellos el de la caña de azúcar, que hay asuntos que es necesario revisar y recalificar a la luz del nuevo conocimiento y sobre todo los cambios que los gustos, deseos y preferencias del consumidor han impuesto en los mercados de destino de los productos de la finca. Una valoración realista y sensata demuestra que hay errores de concepción teórica y aplicación pragmática que deben corregirse para así ajustarse a la realidad actual y sobre todo futura que impone la nueva agricultura. Asegura Chaves (2020f) al respecto, que “El modelo tradicional para hacer agricultura rentable y competitiva debe incondicionalmente cambiar y ajustarse, pues resulta irreconciliable con las condiciones impuestas por la realidad comercial y social actual y también la futura.”*

Iniciativa verde

La práctica agrícola de emplear algunos vegetales como abonos verdes para favorecer e inducir el mejoramiento de los suelos y el estado nutricional de las plantaciones comerciales no es nueva, virtud de ser tradicional, muy conocida y difundida mundialmente para alcanzar la recuperación de suelos degradados e infértiles. La práctica por simple ha sido desatendida y discontinuada desde hace muchos años por razones tecnológicas y falso y erróneo sentimiento de avance, pensando equivocadamente que lo nuevo, moderno y complejo es siempre mejor; lo cual como está suficientemente demostrado no siempre resulta cierto. Como apuntaran Quirós et al (1998) *“La tecnología de la Revolución Verde se expandió por la América Central y permitió el uso de maquinaria para facilitar el trabajo, lo que obligó al agricultor a dar un salto, de la tecnología del “espeque” al uso del “tractor”; lo que como aseverará Chaves (2020g) “Esto ocasionó el abandono de los abonos verdes y demás prácticas que ayudaban a preservar el medio ambiente, lograr la sostenibilidad y la seguridad alimentaria de la población”; con lo cual “El planteamiento anterior contrastó con la realidad de Centroamérica, en donde el pequeño y mediano agricultor realiza sus actividades en áreas de ladera, donde las intensas precipitaciones aceleran el proceso de erosión y degradación de los suelos.”*

El estado de alta degradación e infertilidad que presentan buena parte de los suelos cañeros nacionales actualmente en uso y otros sistemáticamente en clara orientación y destino hacia esa condición, obligan adoptar con carácter emergente inmediato medidas preventivas, de amortiguamiento y también correctivas que conduzcan a reducir o al menos mitigar la pérdida sistemática de potencial y capacidad productiva, que contraviene el deseo de ambicionar alcanzar niveles de productividad agroindustrial elevados, ecoeficientes, sostenibles y eco-competitivos.

Los estudios, el abordaje y desarrollo del tema de emplear plantas de algunas especies como abono verde, asociadas, consorciadas, en cobertura o rotación con la caña de azúcar es muy amplio y diverso en

perspectiva y contenido, como lo demuestran Alfaro (1988), Arboleda *et al* (1979), Buenaventura (1988), Cáceres y Alcarde (1995), Cuellar *et al* (2002, 2003), Chaves (2019b, 2020fgh, 2021, 2022), De la Cruz (2015), Domínguez (1986), Duarte *et al* (1995), Estrada (2009), González (1975), LAICA (2022ab), Maldonado (1984), Montoya (1985), Noriega (1976), Oliveira (1984), Penatti (2013, 2017, 2019), Pérez *et al* (2008), Resende (2000), Salgado *et al* (2012), Vargas y Chaves (2011), Vasconcellos y Pacheco (1987), Velarde *et al* (2004), Velíz (2018), Wiseman (2005), White (2020) y Zúñiga *et al* (1981), entre otros muchos estudios afines que pueden ubicarse en el orbe.

¿Qué ventajas ofrecen potencialmente los abonos verdes?

El uso de abonos verdes bien concebido, orientado e implementado en el campo puede potencialmente generar varios e importantes beneficios al sistema agroproductivo de la caña de azúcar, como son entre otros los siguientes:

- 1) Permite lograr un mejor aprovechamiento integral del espacio físico disponible en la unidad agro-productiva, lo cual se torna significativo considerando la naturaleza extensiva propia del cultivo. En el caso de unidades pequeñas el asocio conduce a optimizar el espacio disponible.
- 2) Aprovechar y accionar los sinergismos existentes que puedan potenciarse y aprovecharse para generar un beneficio directo al agroecosistema de producción de la caña de azúcar.
- 3) Combatir y contrarrestar en algún grado la preocupante degradación que vienen padeciendo de manera sistemática buena parte de los suelos cultivados con caña de azúcar en el país, y que les resta capacidad productiva y competitiva.
- 4) Elevar la condición nutricional del suelo mediante la incorporación de materia verde rápidamente biodegradable.
- 5) En su descomposición (mineralización) en el suelo, los abonos liberan o sintetizan sustancias orgánicas fisiológicamente activas que tienen una acción favorable sobre el crecimiento de las plantas.
- 6) Incorporan materia orgánica y con ello nutrientes esenciales en especial N al suelo que mejoran la condición integral del sistema suelo-planta (Chaves 1999, 2020bf). Se estima que las dos terceras partes del N total de las leguminosas proviene de la atmósfera, por lo que la planta asociada no compite con el cultivo lo que representa una gran ventaja.
- 7) Se incrementan los contenidos de Carbono Orgánico en el Suelo (COS) y con ello se contribuye con la recarbonización de los mismos y la mitigación de los Gases de Efecto Invernadero (GEI) (White 2020; LAICA 2022ab).
- 8) Se incrementa la biota del medio y con ello la biodiversidad del ecosistema agroproductivo.
- 9) La actividad biológica y microbiológica de los suelos se ve favorecida, dinamizada e incrementada.
- 10) La Relación Carbono/Nitrógeno (C/N) del suelo se aproxima a grados satisfactorios (<30).
- 11) Se contribuye con la condición física del suelo mediante mejoras en la estructuración y agregación del mismo.
- 12) Se contribuye con la mejor lixiviación y percolación del agua de lluvia y riego en todo el perfil del suelo.
- 13) Hay una mejora significativa en las condiciones de aireación internas del suelo.
- 14) Las condiciones que favorecen y promueven el desarrollo y dinamizan la capacidad de exploración (horizontal-vertical) del sistema de raíces de la planta de caña se mejoran ostensiblemente, lo que consecuentemente beneficia la absorción de agua y nutrientes coadyuvando a la mayor tolerancia y resiliencia a los periodos secos (Chaves 2020c).
- 15) Se crea un ambiente favorable, muy diferente al encontrado en los monocultivos tradicionales, lo que contribuye a mantener un ecosistema más equilibrado.
- 16) Promueve la mayor cobertura del suelo, protegiendo contra el impacto erosivo de la lluvia y el viento, incrementando la infiltración y reduciendo la erosión y pérdida de la valiosa capa arable del suelo (Chaves 2020eh).
- 17) Disminuye el efecto provocado por la radiación solar directa, atenuando la temperatura del suelo y la amplitud térmica del medio (Cervantes 1993, Cervantes *et al* 1993, Quirós *et al* 1998).
- 18) Contribuyen con la conservación de humedad en el suelo (Quirós *et al* 1998; Sancho y Cervantes 1996).
- 19) Amortiguan y atenúan los cambios bruscos de temperatura acontecidos en la capa superficial del suelo.
- 20) Establece un sistema suelo-planta-atmósfera sano y balanceado en sus factores y elementos incidentes.
- 21) Contribuye al control y equilibrio natural de plagas y enfermedades del suelo.
- 22) Promueve la sostenibilidad del sistema agroproductivo valorado en el tiempo.
- 23) Permite opcionalmente de ser viable y deseado, incorporar por asociación un ingreso económico extraordinario que mejore la rentabilidad general de la unidad productiva (González 1975).
- 24) Se contrarresta en algún grado importante la dependencia de los agroquímicos sintéticos, en especial los fertilizantes, insecticidas y los herbicidas.
- 25) Es viable y factible reducir significativamente los niveles de N aplicados al suelo, disminuyendo con ello la factura por ese concepto en la adquisición y pago de fertilizantes químicos.
- 26) El costo de la semilla puede ser relativamente más barato pues puede producirse en la misma finca.
- 27) Algunas especies operan muy bien en el control de malas hierbas tanto dentro de la plantación de caña como en zonas aledañas.
- 28) Controlan algunas especies de insectos por el efecto trampa, atrayendo al mismo tiempo otras especies benéficas.
- 29) Son plantas de rápido crecimiento que tienen la capacidad de cubrir una amplia extensión del terreno en poco tiempo.
- 30) Pueden ser producidas a un costo relativamente bajo en el propio lugar donde serán aprovechadas, sin tener que incurrir en onerosos gastos por adquisición del insumo, transporte y aplicación del mismo.
- 31) Contribuyen al efecto paisajístico.
- 32) Se contribuye ostensiblemente con las medidas de mitigación a los efectos negativos provocados por los GEI sobre el Cambio Climático (LAICA 2022ab).

Como se infiere de lo anteriormente citado, lo que genérica e integralmente se busca satisfacer con el uso del abono verde es en su esencia lo siguiente:

- 1) Mejorar la condición fisicoquímica y microbiológica de los suelos contrarrestando la degradación silenciosa y oculta que vienen sistemáticamente padeciendo los mismos (Chaves 2017, 2020bd) .
- 2) Incorporar al suelo nutrimentos esenciales procedentes de una fuente natural, principalmente N, elevando con ello su potencial agroproductivo.
- 3) Contribuir con el balance del ecosistema y el ambiente agroproductivo.
- 4) Evitar el uso continuo y creciente de sustancias contaminantes, particularmente agroquímicos sintéticos, estimulando en contrapartida el uso de productos naturales.
- 5) Contribuir a contrarrestar y mitigar el efecto provocado por los Gases de Efecto Invernadero (GEI) sobre el Cambio Climático.
- 6) Aumentar la rentabilidad de la unidad productiva.

Algunas desventajas

Igual que acontece con cualquier actividad productiva y gestión empresarial competitiva algunas de las medidas sugeridas y recomendadas implementar anteriormente, pueden tener alguna resistencia técnica o personal justa o no, que se constituyen en desventajas para su adopción e implementación en un sistema convencional y tradicional de producción comercial de caña de azúcar, como son entre otras las siguientes:

- 1) No compartir conceptual y pragmáticamente por razones técnicas, comerciales, dogmáticas o personales los principios de manejo orgánico sugeridos y recomendados, por considerarlos más difíciles de implementar en el campo, más riesgosos, tener que incorporar nuevos costos y generar tasas de retorno económico más bajas, entre otras. La convicción y aceptación personal es fundamental en la adopción de los abonos verdes como práctica agrícola, lo que puede basarse en experiencias anteriores fallidas, limitantes propias del modelo productivo desarrollado, satisfacción por lo que se hace y como se hace o la influencia comercial con interés creados.
- 2) No tener acceso ni poder disponer en el momento oportuno de los materiales naturales (variedades y semilla) requeridos en cantidad, calidad y costo.
- 3) Considerar inconveniente y complejo realizar ajustes estructurales, operativos y de manejo al sistema convencional de manejo de plantaciones de caña ya establecida y operativamente desarrollada. La comodidad personal del productor también juega en aceptar o no la opción.
- 4) Sentirse cómodo y satisfecho por facilidad, efectividad y costo con el empleo de agroquímicos.
- 5) El área de terreno potencial necesario y/o deseado atender puede ser muy amplia, lo que dificulta el manejo agronómico por tratarse de cultivos diferentes con necesidades también diferentes.
- 6) El uso de abonos verdes opera muy bien en plantaciones que se encuentran en ciclo de caña planta por razones de velocidad de

crecimiento vegetativo; siendo más cuestionada y riesgosa en ciclo de retoño, sobre todo cuando la caña es de rápido crecimiento.

- 7) Considerar que todo está bien y no hay necesidad de introducir cambios al modelo productivo desarrollado.
- 8) La intensidad de trabajo en el campo se incrementa durante los primeros meses.
- 9) Es necesario contar con más mano de obra lo que constituye una limitante en algunas localidades.
- 10) Los requerimientos edafoclimáticos, fenológicos y la sensibilidad de las plantas asociadas son muy diferentes a los de la caña lo que eleva el nivel de riesgo (Chaves 2020a).
- 11) Se debe disponer de la especie y variedad asociada requerida, debidamente validada y adaptada para cada condición y ambiente particular de cultivo donde será desarrollada (Chaves 2019b).
- 12) Carecer de agua o recursos para atender convenientemente el cultivo asociado que puede ser muy sensible al estrés hídrico.
- 13) La condición natural de los suelos es muy satisfactoria en términos de fertilidad, condición física y microbiológica, lo que no justifica incorporar cambios profundos al sistema operado.
- 14) Introducir la siembra de plantas sensibles (leguminosas) dificulta y torna más complejo el manejo de las plantaciones comerciales de caña de azúcar.
- 15) Pueden servir de refugio para plagas como ratas y serpientes como ha sido reportado.
- 16) Considerar inconveniente involucrarse en otras actividades productivas que le generen distracción administrativa respecto al cultivo principal.
- 17) No se identifica ni promueve las causas ambientales.

Como se infiere y concluye de las razones indicadas y calificadas por su causalidad como “*desventajas*”, la mayoría de las menciones son de concepción personal o en su caso de orientación empresarial; otras se fundamentan en factores que por su fondo son potencialmente superables. Hay sin embargo algunas acciones que deben resolverse y asegurarse con la antelación debida, pues de lo contrario la experiencia de campo puede resultar contraproducente y hasta negativa, lo que no es deseable. Lo cierto es que **la disposición personal y mental que el agricultor, el profesional o el empresario tengan con respecto al cambio pretendido resulta determinante, pues de lo contrario no hay mucho que hacer.**

Cuidados por atender y resolver

Como acontece con cualquier sistema agroproductivo comercial existen tópicos y asuntos bióticos y abióticos que deben ser insoslayablemente conocidos, previstos, atendidos y resueltos favorablemente si se pretende alcanzar grados de eficiencia técnico-económica satisfactorios que maximicen lo bueno, minimicen y eliminen lo malo y riesgoso. Un sistema consorciado caña de azúcar-leguminosa o cualquier otra especie vegetal requiere incuestionablemente recibir cuidados y atenciones especiales virtud de que se pueden sumar y agregar sinergismos, pero también desencadenar antagonismos indeseables, respecto al cultivo independiente de cada especie.

Esta circunstancia obliga poner mucho cuidado en tener certeza de los siguientes tópicos:

A. Con respecto a la planta asociada:

- 1) Recabar datos con resultados fidedignos y representativos de antecedentes y experiencias nacionales y externas relacionadas con el cultivo asociado que se pretende desarrollar: *caña-leguminosa, caña-gramínea, caña-otras especies vegetales*.
- 2) Conocer con detalle el ciclo vegetativo (días), la anatomía, la fenología y las características fisiológicas y metabólicas del cultivo asociado previsto emplear. No se puede ser superficial ni omiso en esta materia.
- 3) Conocer todo lo relacionado con el manejo agronómico del cultivo empleado como abono verde: *épocas ideales de siembra, requerimientos climáticos y edáficos, necesidades nutricionales, distancia (cm) y densidad (kg/ha) de siembra, control de malezas, labores de campo necesarias, tiempo (días) para floración, requerimientos hídricos, fitosanidad vinculada con plagas y enfermedades, edad de fructificación y cosecha*.
- 4) El conocimiento detallado de los costos implicados en la siembra, manejo y cosecha de la planta empleada como abono verde es obligado de tener disponible, considerando todas las labores (preparación, siembra, manejo y cosecha), insumos (semilla, fertilizantes, agroquímicos), necesidad de equipos, mano de obra y erogaciones adicionales.
- 5) Se debe tener absoluta certeza de cual cultivo, especie y variedad será empleada, pues no se puede irresponsablemente especular con opciones, posibilidades y simples potenciales. El material vegetal que se emplee para siembra debe contar con la validación de campo y comprobación obligada en el entorno y ambiente donde será cultivada. No caben aquí las suposiciones, estimaciones, proyecciones y extrapolaciones pues este factor determina el éxito o el fracaso del proyecto agroproductivo.
- 6) Debe tenerse absoluta certeza de contar con la semilla necesaria preferiblemente de calidad certificada y en el momento oportuno.
- 7) Es indispensable planificar la dimensión (hectáreas) y características del emprendimiento por desarrollar.

B. Con relación a la caña de azúcar:

- 1) Tener presente las características morfológicas y fenológicas de la variedad de caña sembrada en cuanto a resiliencia, rusticidad, duración del ciclo vegetativo y sus etapas, edad (días) para cierre y cosecha, tipo (erecto, semierecto, postrado) y velocidad de crecimiento particularmente en las fases 1 y 2 del ciclo (Chaves 2019a, 2020a).
- 2) Contar con el detalle de los costos relacionados con la preparación de suelo, siembra, manejo y cosecha de la plantación tanto en ciclo planta como retoño.
- 3) Conocimiento de las necesidades básicas del cultivo de caña según estado fenológico de la plantación.

- 4) Conocimiento puntual de la fenología y características anatómicas y fisiológicas del cultivo en el lugar de siembra tanto en ciclo planta como retoño (Chaves 2020a).
- 5) Saber de antecedentes y experiencias productivas de la caña sembrada en condición de asocio con la especie seleccionada.

C. Asocio caña de azúcar – abono verde:

- 1) Cualquier iniciativa productiva de esta naturaleza debe contar con una base técnico-científica sólida y comprobada.
- 2) Identificar la mejor opción vegetal de asocio basada en criterios realistas y comprobados en el campo y en el lugar, nunca motivados por la teoría, la extrapolación de resultados o la simple especulación.
- 3) Considerar que por razones de velocidad de crecimiento la mejor relación de asociación se establece con caña de azúcar en estado de ciclo planta; por lo que proyectos operados sobre ciclo soca o de retoño deben ser cuidadosamente previstos y operados.
- 4) El objetivo principal y primario del empleo de los abonos verdes como asocio debe ser la mejora fisicoquímica y microbiológica de los suelos, y no necesariamente la cosecha de los productos comerciales opcionales (frijol, vainica, maíz, etc.); pues en dicho caso el fin cambia drásticamente.
- 5) El momento y la forma de cosechar la plantación debe ser predeterminado y respetado, pues no hacerlo cambia los objetivos ambientales y de mejora edáfica previstos en principio satisfacer.
- 6) Debe establecerse una relación costo-beneficio que ubique y contextualice el valor agregado ambiental y económico logrado con la iniciativa desarrollada.
- 7) La dimensión del área (ha) por cubrir y atender debe estar estrechamente asociada con los recursos y capacidades disponibles.
- 8) Se debe tener previsto el origen y calidad de la semilla de la especie asociada seleccionada, lo que implica saber cuándo sembrar si es que se va a producir en la finca o en su caso de dónde propondrá.
- 9) Resulta necesario fijar indicadores medibles, objetivos, representativos y verificables que permitan y faciliten la determinación y cuantificación de los beneficios y posibles perjuicios generados por el sistema de asocio establecido en materia técnica, ambiental y económica.
- 10) Por su naturaleza y particularidades es necesario que el tema ambiental vinculado con la iniciativa sea valorado y estimado empleando los indicadores correspondientes más apropiados en términos de tiempo y calidad.

Opciones vegetales potenciales

Una revisión exhaustiva de antecedentes demuestra con mucha facilidad que por tradición los antecesores dedicados a la agricultura buscaban hacer uso pleno y aprovechar el reducido espacio de cultivo que disponían, muchas veces limitado por tratarse de pequeños agricultores, lo que conllevó a sembrar de manera simultánea y complementaria al cultivo considerado como principal, otras plantas afines con el objetivo de abonar el suelo, mejorar la condición nutricional de los mismos, controlar las malas hierbas, mantener la

humedad del sustrato, conservar los recursos naturales, proteger los terrenos de la erosión y generar una importante fuente alterna de recursos económicos como ingreso. Con la asociación se procuraba generar una renta adicional y también satisfacer mediante autoabastecimiento las necesidades alimentarias de la familia, con lo cual en el caso de la caña de azúcar era común encontrar la planta asociada con frijol (para grano y vainica), maíz, hortalizas, legumbres y hasta frutales (González 1975; Vargas y Chaves 2011; Cervantes *et al* 1993). Como principio técnico se buscaban plantas de ciclo corto que produjeran algún ingreso extra cuando la caña se encontraba en estado de crecimiento. En ese afán son muchas las “asociaciones agrícolas” que con diferentes resultados se han experimentado a través del tiempo, algunas de ellas con muy buen suceso como acontece con las leguminosas.

La idea era y continúa siendo maximizar y optimizar los sinergismos que pudieran establecer una relación favorable, nunca propiciar y estimular los antagonismos que influyeran en el ecosistema, lo que resulta erróneo y contraproducente. Esa condición convierte en un contrasentido técnico, productivo, financiero y empresarial utilizar como abono verde plantas que no posean riqueza nutricional comprobada y no aporten beneficios al suelo; así como también asociar plantas que resulten competitivas entre sí (gramínea caña – gramínea maíz), o en su caso, emplear cultivos de ciclo largo (perennes o semi perennes) o aquellos que dificulten el normal crecimiento, manejo y desarrollo del cultivo principal, en este caso la caña de azúcar. Como principio general, una planta empleada como abono verde no debe necesariamente tener potencial para cultivarse en cobertura y viceversa, aunque sería muy deseable. El enfoque conceptual dominante implica incorporar al sistema agro productivo un principio de mutualismo, de aproximación y sobre todo de integración y complementación en el aprovechamiento de las condiciones prevalecientes en el entorno particular, sea extrayendo o incorporando factores que no afecten negativamente a la caña.

Cabe en este punto comentar y reiterar nuevamente con sentido crítico sobre la imperiosa necesidad de diferenciar las plantas utilizadas como “cobertura vegetal” de las destinadas a “abono verde”, pues los fines y objetivos pueden coincidir como también ser algo diferentes en cuanto a su manejo, lo que demanda y justifica una sana y necesaria aclaración al respecto para favorecer la comprensión del tópico abordado.

Las oportunidades y opciones para que una planta pueda ser empleada como abono verde son muy amplias como apunta Costa Rica (2001b), al dictaminar “los abonos verdes, como las leguminosas fijadoras de nitrógeno, entre ellas: frijoles, vainicas, arvejas, cubás, trébol, gandul, crotalaria, kudzú, mucuna y canavalia. También se utilizan zacates, como el gigante, estrella, grama y otros.”

La literatura es amplia y contundente en demostrar que las leguminosas (Fabáceas) son la especie de plantas que por antecedente y afinidad más se han empleado y utilizan actualmente en la agricultura como abono verde, lo cual no es capcioso ni tampoco casual. Las razones se sustentan en la capacidad biológica natural que posee ese distinguido grupo de plantas para establecer asociaciones simbióticas con bacterias del

género *Rhizobium*, las cuales poseen la propiedad de fijar N atmosférico (N₂), lo que coadyuva y contribuye ostensiblemente con el mejoramiento de la fertilidad del suelo cuando son incorporadas al mismo (Resende 2000). La fijación de N como apuntara Chaves (2020g), “no es un atributo nuevo, pues la historia revela que desde hace miles de años ya había sido detectado; fue sin embargo Beijerinck a quién se le reconoce haber comprobado en 1880 la existencia de bacterias capaces de fijar N atmosférico”.

El principio general que da cuerpo y orienta el empleo comercial de los abonos verdes se fundamenta en la siembra y el desarrollo de plantas con características y atributos muy especiales, principalmente de especies leguminosas, cultivadas con el objeto primario de dejarlas en el campo o en su caso incorporarlas al suelo como fuente de materia orgánica y con ello favorecer por mineralización el aporte de N obtenido directamente de la atmósfera (N₂), generando adicionalmente los importantes beneficios que esa fracción le provee al medio (Chaves 1999, 2020bf, 2021). No cabe duda en reconocer que esta antigua y tradicional modalidad de mejoramiento físicoquímico y microbiológico del suelo empleando principios biológicos y recursos naturales, es por excelencia la más apropiada y recomendada para atender esa necesidad en cultivos extensivos que como la caña de azúcar, ocupan grandes áreas de terreno. Esa decisión viene acompañada y sustentada en elementos que como se mencionó con anterioridad constituyen importantes ventajas.

Los cultivos de cobertura son cultivos adicionales que se pueden integrar asociativamente con el cultivo principal o se pueden establecer de manera independiente con fines de conservación para proteger el suelo de los efectos erosivos del viento, la lluvia, la competencia por malezas y las altas temperaturas fuera del ciclo productivo principal; esto es en periodos de transición o descanso del suelo. Como se evidencia la diferencia entre abono verde, abonos orgánicos, cultivos asociados, intercalados y plantas de cobertura es tenue y muy circunstancial, dependiendo del objetivo pretendido.

Buenaventura (1981) procura explicar conceptual y pragmáticamente dichas diferencias de la siguiente manera:

- Se entiende como cultivos asociados (x) los que se siembran en el mismo sitio o época y uno le sirve de apoyo al otro, como es el caso del maíz y el frijol de enredadera.
- Cultivos intercalados (//) son los que se siembran en la misma época, pero en diferente sitio de terreno.
- Cultivos en relevo (---) son los que se siembran en el mismo lote, pero en diferentes épocas.

Plantas con potencial para uso como abono verde y cobertura

Como se ha reiteradamente señalado son las especies leguminosas las plantas que por predilección, condición y privilegio han sido más utilizadas como abono verde en la agricultura y en particular en la caña de azúcar, pues son las que mayor capacidad natural disponen para proveer cantidades interesantes de N atmosférico al medio en condiciones y periodos de tiempo relativamente cortos. Otros géneros con potencial de uso como es el caso de las gramíneas no cuentan con

la capacidad natural de fijar por simbiosis N atmosférico (N₂) en esos niveles, lo que las restringe para ese fin. Pueden darse igualmente limitantes por razones de duración del ciclo vegetativo, su biotipo arbustivo o arbóreo o incompatibilidad para el manejo de las plantaciones de caña.

Como expresara Chaves (2020g) con estricto apego a los principios pragmáticos que deben orientar una buena gestión técnico-administrativa y empresarial *“La escogencia y selección de la planta a ser utilizada como abono verde constituye una acción técnico-administrativa de extrema importancia para el éxito del objetivo pretendido, pues debe considerar no solo la cantidad y calidad del material previsto producir y ser incorporado, sino también elementos vinculados con la duración del ciclo vegetativo, la capacidad potencial adaptación del mismo a la localidad donde se desarrollara la plantación o proyecto productivo, el tipo y hábito de crecimiento (arbustivo, rastrero, etc.), velocidad de mineralización, la condición fitosanitaria del material pues no debe ser hospeder o atrayente de plagas y enfermedades que afecten la caña y también la disponibilidad de semilla de calidad que disponga el mercado para realizar la siembra”*.

En términos generales una planta empleada como abono verde debe contar con algunas propiedades y atributos ideales, como son entre otros los siguientes:

- ❖ Tener resiliencia y capacidad de adaptarse y crecer bien en suelos pobres y condiciones edafoclimáticas disímiles como las prevalentes en el entorno agroproductivo de la caña de azúcar en Costa Rica (Chaves 2019b).
- ❖ Poseer un crecimiento rápido, mayor al propio de la caña de azúcar.
- ❖ Presentar preferiblemente un ciclo vegetativo corto, donde el tiempo a floración para incorporación al suelo es determinante, pues caso de sobrepasarlo la leguminosa puede envolver y afectar el crecimiento de la caña.
- ❖ Contar con un follaje abundante y succulento que eleve la cantidad de biomasa producida y con ello la materia orgánica potencialmente mineralizable generada.
- ❖ Asegurar que su biomasa no se entremezcle con la caña (tipo bejuco o enredadera) que llegue a ser competitiva y se convierta en un problema para el manejo de la plantación.
- ❖ Poseer contenidos de Nitrógeno elevados que resulten atractivos para los objetivos pretendidos.
- ❖ Contar con semilla de calidad accesible y de bajo costo.
- ❖ Estar debidamente investigada y sobre todo validada en sus demandas, ventajas, efectos y riesgos.

La escogencia y selección de la mejor opción vegetal por emplear en una plantación comercial de caña de azúcar debe insoslayablemente, diferenciar como paso inicial entre las plantas que serán utilizadas como abono verde de las empleadas bajo la modalidad de cobertura vegetal o intercalada, cuyo fin principal es como se indicó, la protección física del suelo, el control de malezas y generar una renta extra. Esta diferencia de fondo en el objetivo planteado establece en la práctica de campo que

hay plantas que son aptas para utilizarse como cobertura, pero no como abono verde, lo que debe conocerse previo a desarrollar una iniciativa productiva de esta envergadura.

LEGUMINOSAS: una revisión exhaustiva de literatura sobre el tema de los abonos verdes y las coberturas vegetales muestra que hay disponibles en el campo agrícola una amplia cantidad y diversidad de biotipos muy particulares y especiales de leguminosas y otras especies, que pueden ser potencialmente empleadas en condiciones, situaciones, ambientes y objetivos muy diferentes; como lo demostrara con gran detalle Chaves (2019b, 2020g) con la información expuesta en el cuadro 3 basada en la información reportada por Benites y Bot (2014) y Benites (2016). Chaves (2019b) con fundamento en lo indicado y recomendado por esos investigadores, *“...categoriza de acuerdo con diferentes entornos en: leguminosas adaptadas a tierras bajas húmedas, leguminosas adaptadas al fuego, adaptadas a condiciones frías, adaptadas a áreas frecuentemente empantanadas e inundadas, leguminosas que toleran sequía, adaptadas a condiciones de sombra, adaptadas a suelos fértiles, a suelos de fertilidad media y leguminosas y otras especies tolerantes a suelos de baja fertilidad. Como se aprecia hay leguminosas para usar como coberturas cuyas condiciones de adaptación son muy amplias y diversas, lo que sirve de referencia para validar y experimentar, pero sobre todo para abrir un espacio a la investigación sobre su posible empleo.”*

En los cuadros 1 y 2 y la figura 1 se presenta un detalle con la identificación de los 37 géneros y 66 especies de leguminosas nombradas y reportadas mayoritariamente por la literatura, respectivamente, como las mejores opciones vegetales con potencial de uso como abono verde y también como cobertura vegetal, lo que demuestra la enorme diversidad de alternativas que existen para utilizar en emprendimientos empresariales de esa naturaleza. Esa diversidad obliga a revisar para seleccionar con buen criterio y para cada condición y ambiente particular de cultivo, la mejor alternativa vegetal.

Cuadro 1. Géneros (37) de leguminosas con potencial para uso como cobertura y abono verde.

<i>Arachis</i>	<i>Galactia</i>	<i>Macrotyloma</i>	<i>Stilozohium</i>
<i>Cajanus</i>	<i>Glycine</i>	<i>Medicago</i>	<i>Stylosanthe</i>
<i>Calopogonium</i>	<i>Indigofera</i>	<i>Melilotus</i>	<i>Trifolium</i>
<i>Canavalia</i>	<i>Lathyrus</i>	<i>Mucuna</i>	<i>Teramnus</i>
<i>Centrosema</i>	<i>Leucaena</i>	<i>Ornithopus</i>	<i>Vicia</i>
<i>Clitoria</i>	<i>Lolium</i>	<i>Phaseolus</i>	<i>Vigna</i>
<i>Crotalaria</i>	<i>Lotononis</i>	<i>Pisum</i>	<i>Zornia</i>
<i>Desmodium</i>	<i>Lotus</i>	<i>Pueraria</i>	
<i>Desmanthus</i>	<i>Lupinus</i>	<i>Secale</i>	
<i>Dolichos</i>	<i>Macroptilium</i>	<i>Spergula</i>	

Fuente: Chaves (2019b).

Septiembre 2023 - Volumen 5 – Número 19

Cuadro 2. Géneros y especies (66) de leguminosas de mayor empleo como coberturas y abonos verdes.

<i>Arachis pintoi</i>	<i>Leucaena endecaphylla</i>	<i>Stilozohium deeringianum</i> (= <i>Mucuna pruriens</i>)
<i>Cajanus cajan</i>	<i>Leucaena leucocephala</i>	<i>Stylosanthes</i> spp.
<i>Calopogonium mucunoides</i>	<i>Lolium multiflorum</i>	<i>Stylobium aterrimum</i>
<i>Canavalia brasiliensis</i>	<i>Lotononis bainesii</i>	<i>Stylosanthes guyanensis</i>
<i>Canavalia ensiformis</i>	<i>Lotus corniculatus</i>	<i>Stylosanthes hamata</i>
<i>Centrosema</i> spp.	<i>Lupinus albus</i>	<i>Stylosanthes humilis</i>
<i>Centrosema pubescens</i>	<i>Lupinus angustifolius</i>	<i>Stylobium</i> spp.
<i>Clitoria tematea</i>	<i>Lupinus luteus</i>	<i>Trifolium</i> spp.
<i>Crotalaria juncea</i>	<i>Macroptilium airopurpureum</i>	<i>Trifolium pratense</i>
<i>Desmodium</i> spp.	<i>Macroptilium atropurpureum</i>	<i>Trifolium repens</i>
<i>Desmodium adscendens</i>	<i>Macrotyloma axillare</i>	<i>Teramnus uncinatus</i>
<i>Desmodium intortum</i>	<i>Medicago sativa</i>	<i>Vicia atropurpurea</i>
<i>Desmodium incinatum</i>	<i>Melilotus officinalis</i>	<i>Vicia ervilia</i>
<i>Desmodium uncinatum</i>	<i>Mucuna Pruriens</i>	<i>Vicia faba</i>
<i>Desmanthus virgatus</i>	<i>Ormithopus sativus</i>	<i>Vicia monanthos</i>
<i>Dolichos lablab</i>	<i>Phaseolus lathyroides</i>	<i>Vicia sativa</i>
<i>Galactia striata</i>	<i>Phaseolus mungo</i>	<i>Vicia villosa</i>
<i>Glycine wightii</i>	<i>Phaseolus vulgaris</i>	<i>Vigna angularis</i>
<i>Indigofera</i> spp.	<i>Pisum sativum</i> L.	<i>Vigna luteola</i>
<i>Indigofera endecaphylla</i>	<i>Pueraria phaseoloides</i>	<i>Vigna umbellata</i>
<i>Lathyrus satirum</i>	<i>Secale cereale</i>	<i>Vigna unguiculata</i>
<i>Lathyrus sativus</i>	<i>Spergula arvensis</i>	<i>Zornia diphlla</i>

Fuente: Ampliado con base en Chaves (2019b).



Figura 1. Especies de leguminosas empleadas como abono verde.

Septiembre 2023 - Volumen 5 – Número 19

Cuadro 3.

Adaptación agro-ecológica de las leguminosas (58) de cobertura más comúnmente empleadas a nivel mundial como cobertura, abono verde, conservación y productos comerciales.

NOMBRE CIENTÍFICO	INGLÉS	ESPAÑOL
Leguminosas adaptadas a tierras bajas húmedas		
<i>Centrosema pubescens</i>	Centro, butterfly pea	Jetirana, bejuco de chivo
<i>Phaseolus mungo</i>	Black gram	
<i>Pueraria phaseoloides</i>	Tropical kudzu	Kudzu tropical
Leguminosas adaptadas al fuego		
<i>Centrosema pubescens</i>	Centro, butterfly pea	Jetirana, bejuco de chivo
<i>Desmodium adscendens</i>		
<i>Glycine wightii</i>	Glycine	Soya perenne
<i>Macroptilium airoppurpureum</i>	Siratro	Siratro
Leguminosas adaptadas a condiciones frías		
<i>Clitoria termalea</i>	butterfly pea	Campanilla, zapallito de la reina
<i>Desmodium intortum</i>	Greenleaf desmodium	Pega-pegá
<i>Desmodium incinatum</i>		
<i>Glycine wightii</i>	Glycine	Soya perenne
<i>Lotononis bainesii</i>	Lotononis	Lotononis, Miles lotononis
<i>Medicago sativa</i>	Lucerne	Alfalfa
<i>Phaseolus lathyroides</i>	Phasey bean	Frijol de monte, frijos de los arrozales
<i>Trifolium spp.</i>	Clover	Trébol
Leguminosas adaptadas a áreas frecuentemente empantanadas e inundadas		
<i>Lotononis bainesii</i>	Lotononis	Lotononis, Miles lotononis
<i>Phaseolus lathyroides</i>	Phasey bean	Frijol de monto, frijos de los arrozales
<i>Pueraria phaseoloides</i>	Tropical kudzu	Kudzu tropical
<i>Vigna luteola</i>	Dalrympler verna	
<i>Vigna umbellata</i>	Rice vean	
Leguminosas que toleran la sequía		
<i>Cajanus cajan</i>	Pigeon pea	Gandul
<i>Canavalia brasiliensis</i>		
<i>Canavalia ensiformis</i>	Jack bean, sword bean	Canavalia
<i>Clitoria tematea</i>	butterfly pea	Campanilla, zapallito de la reina
<i>Desmanthus virgatus</i>		
<i>Desmodium uncinatum</i>	Silverleaf desmosium	
<i>Dolichos lablab</i>	Lablab bean	Frijol caballo, gallinita
<i>Galactia striata</i>		Frijolillo, Galactia
<i>Glycine wightii</i>	Glycine	Soya perenne
<i>Indigofera endecaphylla</i>		Indigo
<i>Leucaena endecaphylla</i>		
<i>Macrotyloma axillare</i>	Archer axillaris	
<i>Stylosanthes guyanensis</i>	Common stylo, tropical lucerne	Alfalfa de Brasil
<i>Stylosanthes hamata</i>	Caribbean stylo, pencil flower	Tebeneque
<i>Stylosanthes humilis</i>	Townsville stylo, wild lucerne	Alfalfa salvaje
<i>Stylobium spp.</i>	Mucuna, velvet bean	Frijol terciopelado
<i>Vigna unguiculata</i>	Cowpea	Caupí
Leguminosas adaptadas a la sombra		
<i>Arachis pintoi</i>	Horse groundnut	Maní forrajero
<i>Calopogonium mucunoides</i>	Calapo	Rado de iguana
<i>Canavalia ensiformis</i>	Jack bean, sword bean	Canavalia
<i>Indigofera spp.</i>		Indigo
<i>Leucaena leucocephala</i>	Leucaena	Leucena, acacia bella rosa, aroma blanca
<i>Pueraria phaseoloides</i>	Tropical kudzu	Kudzu tropical
<i>Trifolium repens</i>	White clover	Trébol blanco

Leguminosas adaptadas a suelos fértiles		
<i>Glycine wightii</i>	Glycine	Soya perenne
<i>Medicago sativa</i>	Lucerne	Alfalfa
<i>Stilozohium deeringianum (=Mucuna pruri)</i>	Mucuna, Velvet bean	Mucuna, Frijol terciopelado
<i>Trifolium spp.</i>	Clover	Trébol
<i>Vicia sativa</i>	Common vetch	Arveja común
Leguminosas adaptadas a suelos medios fértiles		
<i>Centrosema pubescens</i>	Centro, butterfly pea	Jetirana, bejuco de chivo
<i>Galactia striata</i>		Frijolillo, Galactia
<i>Macroptilium atropurpureum</i>	Siratro	Siratro
<i>Lupinus albus</i>	White lupin	Lupino blanco
<i>Lupinus angustifolius</i>	Blue lupin	Lupino azul
<i>Lathyrus sativus</i>	Grass pea, chickling pea	Guija
<i>Crotalaria juncea</i>	Sunn-hemp	Crotalaria
Leguminosas y otras especies tolerantes a suelos de baja fertilidad		
<i>Cajanus cajan</i>	Pigeon pea	Gandul
<i>Calopogonium mucunoides</i>	Calapo	Rabo de iguana
<i>Canavalia brasiliensis</i>		
<i>Canavalia ensiformis</i>	Jack bean, sword bean	Canavalia
<i>Centrosema spp.</i>	Centro, butterfly pea	Jetirana, bejuco de chivo
<i>Desmodium spp.</i>	Desmodium	Pega-pega
<i>Galactia striata</i>		Frijolillo, Galactia
<i>Indigofera spp.</i>		Indigo
<i>Leucaena leucocephala</i>	Leucaena	Leucena
<i>Lotus corniculatus</i>	Birdsfoot trefoil	
<i>Lupinus luteus</i>	Yellow lupin	Lupino amarillo
<i>Macroptilium atropurpureum</i>	Siratro	Siratro
<i>Stylosanthes spp.</i>	Stylo	
<i>Stylobium aterrimum</i>	Black mucuna	Frijol terciopelo negro
<i>Teramnus uncinatus</i>		Maní de venado
<i>Vicia villosa</i>	Hairy vetch	Arveja peluda
<i>Vigna unguiculata</i>	Cowpea	Caupí
<i>Zornia diphlla</i>	Zornia	Zornia, barba de burro
<i>Lolium multiflorum</i>	Italian ryegrass	
<i>Ormithopus sativus</i>	Pink serradella, bird's foot	
<i>Secale cereale</i>	Rye	Centeno
<i>Spergula arvensis</i>	Corn spurry, spurry	Linacilla

Fuente: Benites y Bot (2014); Benites Jump (2016); Chaves (2019b).

En el caso de las leguminosas no pareciera existir duda ni polémica respecto a su eficiencia y efectividad para emplearlas como abonos verdes en asocio con la caña de azúcar; cuya decisión de uso queda restringida a:

- La capacidad de adaptación al ambiente y condiciones particulares de producción.
- La disponibilidad de contar con variedades debidamente validadas en el campo en cuanto a sus características y condiciones agronómicas básicas y necesarias.
- Disponer de semilla accesible de alta calidad, bajo costo y pureza genética.
- Contar con un "paquete tecnológico" apropiado y de eficiencia comprobada comercialmente en el campo.

GRAMÍNEAS: las gramíneas sembradas convenientemente en asocio con las leguminosas favorecen de alguna manera las condiciones del suelo, mejorando la fertilidad y la estabilidad del terreno. Las raíces de las gramíneas virtud de su reconocida capacidad exploratoria mejoran la

condición física del perfil del suelo. En lo específico la planta de avena (*Avena sativa*) se asocia con las especies arbóreas del género *Ceratonia spp* como ocurre con la algarroba, teniendo amplias aplicaciones en la alimentación, tanto animal como humana; como también con el guisante (*Pisum sativum*) como planta herbácea de la familia leguminosa. El centeno (*Secale cereale*) está indicado por su parte para siembra en asocio con la algarroba o las habas (*Vicia faba*).

La experiencia de asocio de las gramíneas con la caña de azúcar es sin embargo limitada y poco recomendable, habiéndose concentrado en el caso nacional en la siembra intercalada de plantas de maíz (*Zea mays*) en los entresurcos de la caña, la cual sin embargo por generar condiciones competitivas y antagónicas se torna no recomendable para la caña, aunque pueda ser rentable. Son muchos los estudios y referencias existentes en torno a esta asociación, como lo demuestran los estudios de Moriega (1976); Arboleda *et al* (1979); Cervantes *et al* (1993); Duarte *et al* (1995) y Estrada (2009). Ese asocio se ha orientado

principalmente con fines más económicos que tecnológicos de mejora mutua.

Apunta Alfaro (1988) al respecto, que “La caña de azúcar a pesar de tener un mecanismo fotosintético muy eficiente, presenta durante las primeras etapas de desarrollo (0-4 meses) un lento crecimiento en la mayoría de las variedades, con lo que permite el establecimiento de otros cultivos de ciclo corto en el entresurco, en vez de la proliferación rápida y masiva de malezas que eventualmente competirán por luz, agua y nutrientes con la caña”.

En el cuadro 4 se anotan e identifican algunas gramíneas empleadas en asocio con leguminosas y caña de azúcar a nivel mundial.

Cuadro 4. Especies Gramíneas empleadas como cobertura y abono verde.

Cultivo	Nombre Científico
Avena	<i>Avena sativa</i>
Cebada	<i>Hordeum vulgare</i>
Centeno	<i>Secale cereale (L.) M.Bieb.</i>
Maíz	<i>Zea mays</i>
Sorgo	<i>Sorghum spp.</i>

CRUCÍFERAS: este tipo de plantas poseen por naturaleza un desarrollo vegetativo muy rápido proporcionando un buen abono verde cuando se dispone de poco tiempo entre cultivos. Son capaces de utilizar las reservas minerales mejor que la mayor parte de las plantas gracias a lo profuso de su sistema radicular, acumulando importantes reservas de nutrimentos en su sección aérea, los cuales luego serán devueltos al suelo mediante la mineralización del componente orgánico depositado en el terreno.

Como especies más utilizadas está el nabo forrajero (*Brassica napus* var. *Oleifera*), la mostaza blanca (*Sinapis alba*), el rábano forrajero (*Raphanus raphanistrum*), entre otras. Se ha comprobado de igual manera que las plantas de esta familia a través de la acción de sus raíces tornan asimilable para otras plantas el fósforo presente en el terreno en estado insoluble, lo que constituye una propiedad y ventaja relevante.

OTROS CULTIVOS: diversas plantas son también reportadas sembradas en asocio con caña panelera como reporta Buenaventura (1981) y De la Cruz (2015) en Colombia con la yuca (*Manihot esculenta*) y el ñame (*Dioscorea esculenta*) en ciclo planta. También hay menciones vinculadas con el cultivo del girasol (*Helianthus annuus*) como lo apuntara Domínguez (1986), el maní (*Arachis hypogaea*), tomate (*Solanum lycopersicum*), melón (*Cucumis melo*), el ayote (*Cucurbita argyrosperma*), el chile dulce (*Capsicum annum*), el culantro o cilantro (*Eryngium foetidum*), los rábanos (*Raphanus sativus*) y el pepino (*Cucumis sativus*) como parte de la familia de las Cucurbitáceas, como lo mencionara Alfaro (1988) para áreas de terreno muy pequeñas destinadas al consumo familiar. El alto costo de la semilla es una barrera contundente que limita el empleo de estas opciones.

Siembra, manejo y cosecha

El tema del manejo agronómico de los cultivos asociados, intercalados o sembrados en cobertura con la caña de azúcar debe observar y respetar necesariamente los principios y demandas individuales de cada especie vegetal en particular; procurando siempre la prudente y deseada integración, armonización y sincronización de sus necesidades fisiológicas, nutricionales, fitosanitarias y metabólicas básicas para lograr su optimización en todos los sentidos. Como se anotó al inicio, es un asunto de buscar maximizar potenciales y favorecer sinergismos, nunca promocionar antagonismos.

Siendo así, es importante mencionar que se conocen y tienen muy bien definidas las necesidades, prácticas, labores y demandas implicadas con la siembra y el manejo agronómico del cultivo de la caña en el país, inclusive a nivel regional, zonal y local; lo que conlleva entonces buscar la forma de ajustar razonable y eficientemente el cultivo asociado o intercalado con la caña. En el caso de las coberturas es un tanto diferente sobre todo si el terreno está en fase de descanso (barbecho), transición y recuperación como lo apuntara Chaves (2020g).

Existiendo tantas buenas opciones de asocio con vegetales de diversa naturaleza, condiciones y requerimientos como fue señalado con anterioridad, es imperativo e inexcusable cuando se pretende establecer una siembra conjunta conocer con gran detalle la planta asociada, lo que implica tener respuestas certeras y con base técnico-económica a factores y elementos como los siguientes:

- 1) Ubicar el área y definir la extensión (hectáreas) del proyecto deseado desarrollar; lo que resulta determinante para fines de estimación y proyección posterior de recursos.
- 2) La altitud (msnm) y las características edafoclimáticas del lugar marcan diferencia significativa en términos de adaptabilidad, requerimientos, demandas, ritmo de crecimiento, cierre de la plantación de caña y floración de la planta asociada.
- 3) Seleccionar con base y criterio técnico bien razonado y fundamentado la especie por asociar: *leguminosa*, *gramínea*, *cucurbitácea*, *crucífera*, etc.
- 4) Considerar y ponderar juiciosamente las consecuencias de sembrar y asociar en ciclo de caña planta o retoño (soca) en función de la velocidad (días) de crecimiento de la caña y florecimiento del asocio.
- 5) Emplear la variedad o cultivar requerida de la planta por asociar y que cuenta con la validación y comprobación de campo necesaria y obligada.
- 6) Establecer la plantación mixta y asociada con el sistema de siembra (surco doble, distanciamiento entre surcos, ubicación de la planta asociada, etc.) que se considere más conveniente basados en resultados experimentales, nunca en improvisaciones y menos en ocurrencias.
- 7) Emplear la distancia entre plantas (cm) necesaria.
- 8) Determinar la densidad (kg/ha) de plantas más apropiada.
- 9) Definir la mejor época (mes) y momento de siembra de la planta asociada respecto al cultivo de caña (días post siembra), lo que ha marcado diferencia en otras latitudes como lo demuestran Calegari (1995) y Hernani y compañeros (1995). El clon de caña empleado

marca diferencia en esta materia virtud de las diferencias fenotípicas que existen entre los mismos.

- 10) Disponer sin objeción de la semilla necesaria en torno a cantidad (kg/ha), momento, calidad y pureza genética.
- 11) Decidir si la semilla se adquiere de fuera o produce en la finca; lo que obliga definir épocas de siembra para semilla y producto final.
- 12) Tener muy definida la época de floración, corte y cosecha con el objetivo pretendido (abono verde, cobertura, cultivo intercalado o asociado) respecto a fructificación y recolección.
- 13) Tener previsto todo lo necesario para incorporar (o dejar en la superficie) el material vegetal si esa es la decisión y objetivo pretendido: *equipos, mano de obra, insumos*.
- 14) Formular y disponer un cronograma detallado de actividades por implementar y ejecutar definido en tiempos que guíe y oriente la gestión técnico-administrativa.
- 15) Conocer con detalle los costos e inversiones (€/ha) implicadas realizar para cada especie asociada como también integralmente para toda la plantación (caña + asocio).
- 16) Establecer un sistema de registro apropiado con indicadores representativos y reveladores que evidencien la calidad de los resultados finales medidos en criterios productivos, financieros y ambientales.

En este acápite cabe retomar y considerar lo señalado oportunamente por Chaves (2020g) al manifestar en relación con el cultivo de la caña de azúcar basados en la experiencia nacional con *Mucuna* y leguminosas, que *“Los abonos verdes se recomienda incorporarlos de preferencia luego de sucedida la floración y previa fructificación de la planta para garantizar la producción de una gran cantidad de biomasa; pues caso contrario el material resultante es de baja calidad. Como se infiere, en este caso no resulta recomendable llegar a la fase de obtener producto (vainicas) con potencial comercializable pues la idea se contraponen al objetivo principal procurado. Considerando que los abonos verdes se descomponen con mucha rapidez, es recomendable realizar su incorporación al suelo al menos de 2-3 semanas previas a la siembra de la nueva plantación; en el caso de plantaciones establecidas debe efectuarse previo al cierre de la misma. Es fundamental tener presente que el abono verde resulta beneficioso en el tanto no interfiera ni*

perjudique a la actividad principal, en este caso la caña de azúcar. Por este motivo se recomienda hacerlo en los periodos de entre zafra o cuando las condiciones y el momento, permiten su incorporación previa al establecimiento de una nueva plantación”.

El tema de la fecha de siembra y cosecha de la planta asociada con la caña es muy importante de tener presente y muy bien definido por la relevancia y trascendencia que tienen para los fines pretendidos; habiéndose demostrado sin embargo por medio de la investigación y la experimentación, que la incorporación de la materia verde recolectada es deseable incorporarla al suelo, aunque la práctica resulta prescindible y por tanto no necesariamente obligada, lo que habilita la posibilidad de dejar los residuos vegetales depositados en la superficie del suelo, con lo cual presuntamente se obtienen resultados muy similares. La incorporación de la biomasa al suelo se puede realizar por medios mecanizados o mediante modalidades de cultivo de mínima labranza.

Con el objeto de contar con una orientación y aproximación certera sobre necesidades, requerimientos y demandas de las diferentes opciones vegetales que están disponibles para desarrollar una iniciativa agroproductiva de esta naturaleza, se presentan los cuadros 5 y 6 basados en la experiencia brasileña, en los cuales se define para 24 especies vegetales diferentes información relevante sobre: *época de plantío (meses), espaciamiento entre plantas (m), cantidad de semilla requerida (kg/ha), ciclo de floración, cantidad de biomasa verde y seca producida (t/ha/año) y composición mineral aproximada (N-P-K, C/N)*. Como se indicó la información constituye un importante referente que debe sin objeción ser estudiado, investigado y validado en cada condición particular de cultivo, lo que no admite objeción ni justificación.

De igual manera, se muestra en el cuadro 7 el resultado de un estudio de campo donde se evaluó la modalidad de colocación de la leguminosa en relación a la planta caña de azúcar, valorando tres posiciones: a) en un surco al lado de la caña, b) en surco doble al centro del entresurco y c) en surco sencillo sembrado al centro del entresurco. Como se infiere de los resultados la mejor modalidad se logró con la opción b) cuando se trabajó con surco doble de frijol.

Septiembre 2023 - Volumen 5 – Número 19

Cuadro 5. Características de las principales especies vegetales (20) utilizadas como Abono Verde. Experiencia brasileña.

Nombre		Ciclo de floración	Espaciamento		Biomasa		Composición Nutricional			
Común	Científico		Cantidad de Semilla		t/ha/año		Totales (%)			
			m	kg/ha	Verde	Seca	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	C/N
Frijol de Cerdo	<i>Canavalia ensiforme</i> D.C.	80 - 90	0,5 x 0,2	70	18 - 30	6 - 10	3,39	0,35	2,65	10
Crotalaria	<i>Crotalaria juncea</i> L.	120		54	16 - 54	10 - 16	1,8	9,24	1,26	17 - 25
Crotalaria	<i>Crotalaria paulinea</i> Schrank	131		50	37 - 42	7				
Crotalaria	<i>Crotalaria grantiana</i>									
Gandúl	<i>Cajanus cajan</i> L.	180 - 210	0,5 x 0,2	80	9 - 33	5 - 12	2,55	0,25	1,57	15
Lab-Lab	<i>Dolichos lab-lab</i> L.	120 - 140	0,5 x 0,2	25 - 50	7 - 44	5 - 10	2,04	0,46 - 1,15	1,45 - 2,77	19 - 30
Mucuna Negra	<i>Stylobium aterrimum</i> Holland	150	0,5 x 0,2	70	10 - 30	7	2,67	0,33	1,95	12 - 15
Mucuna Anã	<i>Stylobium deerigamum</i> Holland	80 - 90	0,5 x 0,2	80	35					
Mucuna Ceniza	<i>Stylobium</i>			70						
Soya Oootan	<i>Glycine max</i> L.	120		22	15	4	1,86	0,21	1,5	19
Soya Perenne	<i>Glycine wightii</i> Verdc					8 - 10				
Caupí	<i>Vigna sinensis</i>				18	5	2,73	0,23	2,15	15
Centrosema	<i>Centrosema pubescens</i>									
Stilosantes	<i>Stylosanthes guianensis</i>			2 - 6	32	3 - 11	2,3	0,27	1,23	
Kudzú Tropical	<i>Pueraria phaseoloides</i> Benth		1,0 x 1,0	10 - 15						
Siratro	<i>Macroptilum sp</i>			3 - 5	20					
Tefrosia	<i>Tefrosia candida</i>			21	14 - 15	2				
Frijol Bahiano	<i>Vigna sesquipedalis</i>					4	2,62	0,28	2,38	14
Leucena	<i>Leucaena leucocephala</i>	Perenne	5,4 x 3,2			7 - 16				
Napier	<i>Pennisetum purpureum</i>	Perenne				25				

Fuente: Adubação Orgânica (1986).

Cuadro 6. Abonos Verdes: época de plantío y cantidad de semillas a ser utilizadas para la producción de biomasa. Experiencia brasileña.

Nombre		Época de Plantío	Espaciamento entre líneas (cm)	Cantidad de Semilla	
Común	Científico			Nº por metro de surco	kg/ha
Crotalaria	<i>Crotalaria juncea</i> L.	Octubre a marzo	50	30 - 40	25 - 40
Crotalaria	<i>Crotalaria paulinea</i> Schrank	Octubre a marzo	50	25 - 30	9 - 12
Crotalaria	<i>Crotalaria spectabilis</i> Roth	Octubre a marzo	50	25 - 30	9-dic
Chicharo	<i>Lathyrus sativus</i> L.	Marzo a abril	50	10 - 15	45
Gandúl	<i>Cajanus cajan</i> (L.) Millsp	Octubre a marzo	50	15	50
Mucuna Anã	<i>Stylobium deerigamum</i> Holland	Octubre a marzo	40 - 60	10 - 12	120 - 150
Mucuna Negra	<i>Stylobium aterrimum</i> Holland	Octubre a marzo	50 - 70	7	100 - 135
Kudzú Tropical	<i>Pueraria phaseoloides</i> Benth	Octubre a marzo	50 - 80	20 - 30	8 - 12
Calopogônio	<i>Calopogonium mucunoides</i> Desv.	Octubre a marzo	50 - 80	40	6 - 10
Labe-Labe	<i>Dolichos lab-lab</i> L.	Octubre a marzo	50 - 70	10	40 - 55
Frijol de Cerdo	<i>Canavalia ensiforme</i> D.C.	Octubre a enero	50 - 70	7	140 - 200
Soya Común	<i>Glycine max</i> (L.) Merrill	Setiembre a noviembre	50 - 60	20 - 25	70 - 80
Soya Perenne	<i>Glycine wightii</i> Verdc	Setiembre a enero	50	50	6
Avena Negra	<i>Avena sativa</i> L.	Marzo a mayo	20 cm o al voleo	60 o 300/m ²	70 - 80

Fuente: Espíndola et al (1989).

Cuadro 7. Producción caña/frijol en asocio con arreglo espacial.

Tratamiento	Modalidad	Producción (t/ha)		Rendimiento Equivalente x Ton/ha
		Frijol	Caña	
Caña + Frijol	Surco al lado de la caña	0,421	134	144
Caña + Frijol	Surco doble al centro	0,946	135	159
Caña + Frijol	Surco sencillo al centro	0,84	133	154

Fuente: Alfaro (1988).

Aporte de Nitrógeno

Sin lugar a duda cuando se habla de abono verde las inferencias y resultados deben coincidir con indicadores y variables concordantes y coincidentes con ese objetivo, entre los que destacan el mejoramiento de las condiciones físicas del suelo (estructura y agregación, reducción de la compactación, aumento de la humedad en el suelo, mejora de la infiltración y percolación), de las condiciones químicas del mismo (aumento de los contenidos minerales y materia orgánica, aporte de N, balance nutricional, reducción de la acidez, incremento de la fertilidad), del componente biológico y microbiológico (mineralización del componente orgánico, Relación C/N apropiada, actividad microbial, biodiversidad) y conservación de los recursos naturales (edáfico, hídrico, biológico) mitigando las pérdidas por erosión.

Los aportes de N al suelo pueden ser como está constatado en la literatura muy variables y volátiles en el corto tiempo y aún en una misma localidad virtud de la naturaleza y características propias del nutrimento, la dinámica y heterogeneidad edafoclimática de entorno agroproductivo, los sistemas diferenciados de manejo y modalidades de cultivo, entre otros. Como se evidencia en el cuadro 5, los mayores contenidos porcentuales de N total reportados en las especies allí anotadas corren el siguiente orden: *Canavalia ensiforme* (3,39%), *Vigna sinensis* (2,73%), *Stylobium atermum* (2,67%), *Vigna sesquipedalis* (2,62%), *Cajanus cajan* (2,55%), *Stylosanthes guianensis* (2,30%), *Dolichos lab-lab* (2,04%), *Glycine max* (1,86%) y *Crotalaria juncea* (1,80%). Es muy sobresaliente comprobar que prácticamente todas las Relaciones C/N reportadas (10-30) son inferiores o iguales a 30 lo que es muy destacable y positivo para favorecer la actividad microbiológica relacionada con la mineralización de los componentes orgánicos. No puede pasar por alto mencionar la significativa concentración de Fósforo (9,24%) como P₂O₅ contenida en la especie *Crotalaria juncea* y de Potasio (2,65%) como K₂O en *Canavalia ensiforme*.

El cuadro 8 muestra de acuerdo con lo reportado por Cáceres y Alcarde (1995) y Penatti (2013), la cantidad de nutrimentos dada en kilogramos por hectárea extraída por siete especies leguminosas diferentes. Sobresale la *Crotalaria juncea* por la mayor extracción de nutrimentos N-P-K-Mg-S que observa, solo superada en el caso del Ca por la *Mucuna Anã* y la *Crotalaria spectabilis* que mostraron mayores concentraciones. Por su orden los mayores contenidos de N en los tejidos fueron para *Crotalaria juncea* (235 kg/ha), el Frijol de Cerdo (190 kg), Gandúl (142

kg), *Crotalaria spectabilis* (113 kg), *Mucuna negra* (105 kg), Lablabe (96 kg) y *Mucuna anã* con 81 kg, respectivamente.

Cuadro 8. Extracción de nutrimentos por leguminosas empleadas en rotación.

Leguminosa	Nutriente					
	N	P	K	Ca	Mg	S
	(Kg/ha)					
<i>Crotalaria juncea</i>	235	19	102	53	29	16
<i>Crotalaria spectabilis</i>	113	9	95	63	16	8
Gandúl	142	11	62	25	11	9
<i>Mucuna anã</i>	81	6	37	109	8	4
<i>Mucuna negra</i>	105	7	41	27	9	6
Lablabe	96	9	49	23	9	8
Frijol de Cerdo	190	10	68	51	18	11

Fuente: Cáceres y Alcarde (1995); Penatti (2013).

Es claro que este indicador es muy importante de considerar al momento de discriminar y decidir entre varias opciones vegetales, pues **al suelo solo puede llegar el Nitrógeno y nutrimentos que estén contenidos en los tejidos de la planta**, esa es una verdad irrefutable.

Se estima que una plantación destinada a la producción de biomasa para abono verde puede llegar a producir más de 50 toneladas por hectárea y año, con potencial para ser incorporada al suelo. El cuadro 5 reporta para las diferentes especies consideradas un amplio ámbito de producción que va de 7 a 54 toneladas de biomasa/ha/año cuando la misma es valorada como biomasa verde y de 2 a 25 t/ha/año cuando es en seco, lo que demuestra y ratifica las grandes diferencias existentes entre especies. Se concluye que el contenido de N en los tejidos y la producción potencial de biomasa (t/ha/año) son dos de las variables determinantes, entre otras, que deciden que especie vegetal seleccionar y utilizar como abono verde.

La cantidad de Nitrógeno fijado por las leguminosas es muy variable dependiendo de la especie y aún dentro de una misma especie. El cuadro 9 presenta un detalle del N fijado dado en kilogramos por hectárea; así como también la cantidad de materia seca próxima a producir y, adicionalmente, la cantidad de semilla (t/ha) que puede obtenerse de una plantación comercial. Se adjunta un dato interesante sobre Rábano (*Raphanus sativus*) también de uso opcional como cobertura. Las diferencias observadas y la amplitud de los ámbitos de fijación y producción para los tres indicadores son significativos, lo que denota las variaciones entre las mismas. Los abonos verdes contribuyen como apunta White (2020) con la “Sostenibilidad de la caña de azúcar y la captación de Carbono en el suelo”.

No puede dejar de mencionarse en este acápite que **la mayor ventaja que poseen las leguminosas sobre otras especies de plantas empleadas como abono verde, es que el Nitrógeno contenido en los tejidos y potencialmente incorporado en el suelo proviene de la fijación biológica**

de N atmosférico (N₂), lo que elimina cualquier competencia con el cultivo de caña en este caso.

Cuadro 9. N fijado y producción de materia seca y semilla (t/ha) de 6 especies leguminosas.

Especie	Fijación N (kg/ha)	Producción Materia Seca (t)	Producción de Semilla (t/ha)
<i>Crotalaria juncea</i>	150 - 165	10 - 16	
<i>Cajanus cajan</i>	41 - 280	8 - 15	1,0 - 1,8
<i>Mucuna aterrima</i>	120 - 157	6 - 8	1,0 - 1,5
<i>Mucuna aná</i>	100	4 - 6	1,2
<i>Canavalia ensiformis</i>	57 - 190	5 - 8	1,0 - 1,8
<i>Raphanus sativus</i>	60 - 180	2 - 6	

Fuente: Salgado *et al* (2012).

En el cuadro 10 se presenta una interesante relación del contenido de Nitrógeno aportado por la *Mucuna* y la *Canavalia* incorporadas en el suelo como abonos verdes expuesta por García y compañeros (1996), traducido y expresado en su equivalente Urea comercial, lo que revela que la fijación proveída por la primera especie significa aplicar 6,5 sacos y en el caso de la *Canavalia* 10 sacos de esa fórmula fertilizante, lo que dimensiona y magnifica la importancia técnico-económica de esas plantas como sustitutos y/o complementos a incorporar en los programas de fertilización comercial al suelo.

Cuadro 10. Comparativo del aporte de Nitrógeno de la *Mucuna* y la *Canavalia*.

Abono Verde	Kilos de Nitrógeno/ha	Libras de Nitrógeno/Mz	Sacos de Urea por:	
			Hectárea	Manzana
MUCUNA	152	236	6,5	4,5
CANAVALIA	231	358	10	7

Fuente: García *et al* (1996).

Alternativas potenciales para Costa Rica

La necesaria, inexcusable y obligada pregunta siempre surge al incursionar en esta materia sobre ¿Cuáles son las mejores opciones vegetales que pudieran tener potencial de uso comercial en Costa Rica como abono verde? La respuesta más calificada, certera y confiable solo puede darla la investigación seria, bien conceptualizada y desarrollada en los lugares de producción donde se valoren las opciones más viables y factibles desde la perspectiva técnico-financiera y ambiental que pudieran existir, lo que conlleva necesariamente desarrollar un programa continuo de investigación, validación y desarrollo comercial previo cualquier recomendación técnica que se pretenda emitir. De lo contrario cualquier opinión resulta enteramente especulativa, poco seria y hasta irresponsable, sobre todo si es una institución la que la emite criterio.

En el país es aún muy poco lo que se ha experimentado con la caña de azúcar y los resultados que se tienen con esta asociación para fines de mejoramiento del suelo son escasas, lo cual se restringe a un antecedente comercial desarrollado en décadas anteriores en un suelo degradado del orden Ultisol, como lo señara y explicara Chaves (2019b) al indicar, que:

“En Costa Rica hay poca experiencia comercial y ninguna investigativa en torno al empleo de coberturas vegetales en el cultivo de la caña de azúcar. En los años 2000-2003 se realizó una experiencia de cultivo (300 ha) de caña orgánica en la Zona Alta de Juan Viñas (≈1.200 - 1.400 msnm) con la variedad H 77-4643 cosechada a 24 meses y sembrada en un suelo del Orden Ultisol, donde se sembró como cobertura verde el frijol terciopelo o Mucuna (Mucuna pruriens) con doble propósito: control de malezas y aporte de Nitrógeno. El resultado final de la experiencia no fue todo lo satisfactoria que se esperaba por caída significativa (hasta 30%) y sistemática de los rendimientos agroindustriales a niveles antieconómicos, la dificultad para controlar las malezas por lo tardío del ciclo vegetativo hasta cierre de la plantación, los altos costos asociados (mano de obra, compost) que no retornaban la inversión realizada y aprietos por los bajos precios de mercado que no compensaban la inversión. La experiencia con el uso de cobertura verde fue sin embargo positiva, aunque por causa del ciclo vegetativo largo debían realizarse dos chapas y una arranca cerca de los 7-8 meses lo que elevaba significativamente el gasto. Luego de realizar dos cosechas y fabricar azúcar orgánica el proyecto se desechó (Comunicación Personal, Sr. Tomás Madriz Palma. 11 octubre 2019).”

En la actualidad se desarrolla un interesante emprendimiento empresarial en la zona cañera norte, cantón de San Carlos (120 msnm), propiamente en un suelo infértil del orden Ultisol de la localidad de San Gerardo de Pocosol empleando *Mucuna pruriens* en asocio con caña de la variedad B 77-95. Los resultados son muy satisfactorios en lo concerniente a adaptación, crecimiento y producción de biomasa, desconociendo sin embargo lo relativo a indicadores importantes relacionados con la incorporación de Carbono, la Relación C/N, el aporte de Nitrógeno y mejora de la condición edáfica y nutricional. El desarrollo de la leguminosa fue muy bueno tanto dentro de la plantación comercial de caña como en las rondas de la misma, llegando inclusive sorpresivamente a combatir eficientemente la temible maleza *Rottboellia conchinchinensis* (figura 2). La experiencia se ha extendido también al cantón de Los Chiles (30-70 msnm).



Figura 2. Control de *Rottboellia conchinchinensis* por *Mucuna pruriens*.

En torno a esa reciente experiencia comenta y concluye Chaves (2019b) lo siguiente:

“Se recomienda en caña planta sembrarla antes de instalar la caña en el campo, cortarla e incorporarla al suelo con equipo mecánico luego entre 3-4 meses de edad, cuando la misma este floreada en más del 50% y su contenido nutricional es máximo. En caña soca se recomienda sembrarla en el entresurco (50 cm entre plantas) entre 45-60 días posteriores al retoño y crecimiento de la caña. Esto es importante pues la Mucuna es muy agresiva y podría afectar y “ahogar” el cultivo, lo cual hay que evitar. La siembra puede ser podando las guías y cultivando en el entresurco, o dejarlo a libre crecimiento por 3-4 meses hasta corta, previo al cierre de la plantación. De acuerdo con lo manifestado por el Ing. Agr. Elverth Barquero Madrigal (Comunicación Personal, 11 octubre 2019), la experiencia solo cosas positivas ha generado a excepción de los costos implícitos, perfilando su uso como conveniente para controlar malezas e incrementar la fertilidad del suelo por aporte de N y mejora de la Relación C/N. Ha sido notorio el control de malezas difíciles como la Rottboellia.”

Se mencionan y comenta en la actualidad sobre resultados presuntamente favorables logrados en otras investigaciones de campo desarrolladas en la región cañera del Pacífico Central (4-350 msnm), Valle Central (174-1.360 msnm) y la Zona Sur (180-870 msnm), las cuales por no estar documentadas, referenciadas ni accesibles públicamente no serán reseñadas en esta oportunidad.

Lo que sí es conocido en el país, aunque de manera más empírica que científica basada en experiencias comerciales de campo, es la asociación de la caña de azúcar con cultivos de frijol y maíz, lo cual busca sin embargo satisfacer otros objetivos alternativos y mediáticos como son

incrementar los ingresos en el corto plazo y contribuir con la alimentación familiar. Ese vínculo asociativo fue muy típico y tradicional en épocas pasadas en especial en el caso de unidades productivas pequeñas propias del pequeño agricultor, en lo que hoy denominamos “agricultura familiar” como lo señalaran oportunamente Vargas y Chaves (2011).

Aquí lo interesante es poder inferir y concluir sobre la buena relación sinérgica que mantienen gramíneas como la caña de azúcar con plantas de uso común como el frijol (*Phaseolus vulgaris*) de la familia Leguminosae (Fabáceae) y de las dicotiledóneas. En el cuadro 11 se presentan resultados del asocio caña-frijol realizado en Colombia con la reconocida variedad de caña POJ 2878 sembrada en cuatro tiempos: junto con la caña y espaciado a los 10, 20 y 30 días posteriores de realizar la siembra. El mejor resultado agrícola según Alfaro (1988) resultó ser cuando la caña se cultivó sola como monocultivo, aunque integralmente y sin mostrar diferencias estadísticas en términos agroindustriales cuando se asoció con el frijol sembrado a los 20 días.

Cuadro 11. Efecto de la época de siembra del frijol intercalado con caña de azúcar sobre el rendimiento.

Tratamiento	Días siembra del frijol *	Producción (Kg y toneladas/ha)		Rendimiento Equivalente x Ton /ha
		Frijol	Caña	
Caña sola			240 a	25,4 a
Caña + Frijol	0	1.345 a	217 b	24,0 a
Caña + Frijol	10	1.399 a	220 ab	25,5 a
Caña + Frijol	20	829 b	224 ab	26,1 a
Caña + Frijol	30	723 b	215 b	26,1 a

* Días posteriores a realizar la siembra de la caña.

Tratamiento con igual letra no muestran diferencia estadística significativa.

Variedad de caña POJ 2878.

Fuente: Alfaro (1988).

En otra prueba de campo similar realizada en el Valle del Cauca en Colombia distanciando la siembra del frijol a los 0, 15, 30 y 45 días respecto al momento de cultivar la caña, además de incorporar un testigo sin leguminosa (cuadro 12); se encontró que el asocio con siembra del frijol a los 30 días produjo la mayor cantidad de azúcar, aunque sin significancia estadística (Buenaventura 1981).

Cuadro 12. Producción de Caña de Azúcar sembrada en monocultivo y en diferentes épocas intercalada con frijol, en el Ingenio Providencia, Colombia.

Tratamiento	Días siembra del frijol *	Producción (toneladas/ha)	
		Caña	Azúcar
Caña sola		256,1 a	30,8 a
Caña + Frijol	0	245,9 a	29,9 a
Caña + Frijol	15	255,8 a	31,8 a
Caña + Frijol	30	274,6 a	34,6 a
Caña + Frijol	45	213,6 b	24,7 b

* Días posteriores a realizar la siembra de la caña.

Tratamiento con igual letra no muestran diferencia estadística significativa.

Fuente: Buenaventura (1981).

Una revisión y recuento bibliográfico basado en la investigación y las experiencias comerciales nacionales e internacionales ubican las mejores opciones vegetales por estudiar y validar por su orden caso se desee emplearlas a nivel nacional, en cinco especies principales de leguminosas, como son:

- ❖ *Mucuna*
- ❖ *Crotalaria*
- ❖ *Vigna*
- ❖ *Canavalia*
- ❖ *Kudzú*

En el cuadro 13 se presenta un interesante comparativo entre *Mucuna* y *Canavalia* que exalta sus propiedades y atributos básicos. La figura 3 expone un detalle gráfico de las mismas que denota la similitud y las diferencias existentes entre las mismas. La *Mucuna* como señala Hernández (2004) constituye una excelente alternativa para mejorar los suelos y combatir malezas en Costa Rica.

Cuadro 13. Comparativo agronómico entre *Mucuna* y *Canavalia*.

Indicador	<i>Mucuna</i>	<i>Canavalia</i>
Origen	China, Malasia y Filipinas	México y Centroamérica
Rango de altura para su desarrollo	200 - 1.200 msnm	0 - 1.700 msnm
Humedad limitada en el suelo	No se desarrolla bien	Se desarrolla bien
Color del grano	Pinto, negro o blanco	Blanco
Tamaño de la vaina	10 cm	35 cm
Material verde	10 - 30 ton/ha	3 - 5 ton/ha
Aporte de Nitrógeno	152 kg/ha (235 lbs/mz)	231 kg/ha (355 lbs/mz)
Momento para su siembra en asocio con maíz	A los 45 días	A los 8 días

Fuente: García *et al* (1997).

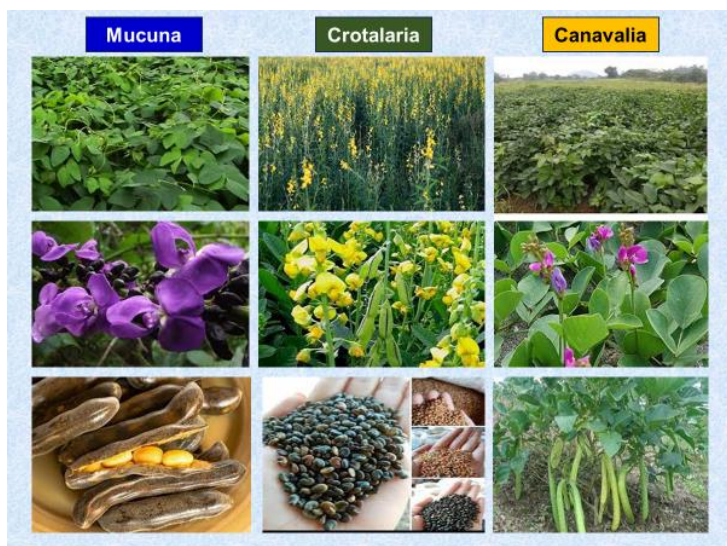


Figura 3. Comparativo gráfico de tres especies leguminosas importantes.

Proyectando los beneficios que puedan aportar los abonos verdes a la productividad de la caña de azúcar se expone en el cuadro 14, el resultado de un estudio de campo desarrollado en Brasil en el cual se evaluaron dos especies leguminosas durante tres cosechas, demostrando el aumento del tonelaje de caña en los tres cortes realizados donde el testigo nunca se aproximó a los dos tratamientos evaluados; lo cual es atribuido por Salgado *et al* (2012) y Wutke y Arévalo (2006) a la capacidad de fijación de N atmosférico de las leguminosas, aunado a su rápida descomposición en el suelo y con ello mayor liberación de N en el medio. En el caso de las gramíneas por tener una fitomasa con menos riqueza de Nitrógeno en sus tejidos y contar con relaciones C/N superiores a 30, pese a formar coberturas más estables, su descomposición en el campo se torna más lenta requiriendo más

tiempo para ello y con menor aporte de N al suelo, lo que las margina para ser empleadas como abono verde. La competencia por N en el caso de las gramíneas es superior debido a la demanda requerida por los microorganismos descomponedores presentes en la biota del suelo.

Cuadro 14. Efecto del abono verde en el rendimiento de la caña de azúcar.

Tratamientos	Ciclos de Cultivo			Media
	Plantilla	Soca	Resoca	
	(t/ha)			
<i>Crotalaria juncea</i>	72,0	75,0	49,1	65,3
<i>Dolichos lablab</i>	81,4	71,0	60,2	70,8
Testigo	66,0	58,0	39,8	54,6

Fuente: Salgado *et al* (2012).

Adicional al resultado anterior se presentan en el cuadro 15 los datos de un interesante estudio realizado en Brasil por Cáceres y Alcarde (1995), en el cual estudiaron el efecto de emplear siete reconocidas leguminosas en rotación sobre la productividad de una plantación comercial referenciada en el tonelaje de caña y azúcar (t/ha), obtenidos luego de tres cosechas consecutivas. Se mantuvo adicionalmente un testigo en condición de barbecho (terreno dejado sin sembrar durante un tiempo). El resultado muestra que todas las leguminosas superaron siempre al testigo sin sembrar en producción de caña y azúcar (t/ha), llegando sin embargo a un equilibrio relativo en la tercera cosecha. Es evidente la pérdida de productividad con el tiempo, lo que opera de manera diferencial para los tratamientos. La *Crotalaria* pareciera ser la especie leguminosa que mejores resultados ofrece en productividad agroindustrial, seguida por la *Mucuna* y *Lablabe* en cuanto a azúcar recuperada (figura 4). Queda así demostrado el efecto positivo generado por las leguminosas especialmente durante las dos primeras cosechas, lo que sugiere revisar la residualidad de los efectos.

Cuadro 15. Productividad de tres cortes de caña en rotación con otros cultivos.

Tratamiento	1° Corte		2° Corte		3° Corte		Promedio *	
	TCH	TAH	TCH	TAH	TCH	TAH	TCH	TAH
Barbecho	119 b	16,7 d	84 b	12,6 b	64 ab	11,2 a	89,0	13,5
<i>Crotalaria juncea</i>	133 a	19,7 a	90 ab	13,7 ab	63 ab	10,5 a	95,3	14,6
<i>Crotalaria spectabilis</i>	134 a	19,2 ab	92 a	14,3 a	66 ab	11,1 a	97,3	14,9
Gandúl	127 ab	17,7 bcd	85 ab	13,3 ab	61 ab	10,5 a	91,0	13,8
<i>Mucuna negra</i>	120 b	17,2 cd	88 ab	13,5 ab	60 ab	10,1 a	89,3	13,6
<i>Mucuna añá</i>	126 ab	18,4 abc	88 ab	13,8 ab	58 b	9,9 a	90,7	14,0
Lablabe	127 ab	18,7 ab	86 ab	13,3 ab	60 ab	10,1 a	91,0	14,0
Frijol de Cerdo	126 ab	17,8 bcd	85 ab	13,0 ab	60 ab	10,2 a	90,0	13,7
DMS Duncan 5%	9,5**	1,5**	7,8 ns	1,5 ns	7,4 ns	1,3 ns		

Medias seguidas de la misma letra no difieren estadísticamente según prueba de Duncan al 5% de probabilidad.

TCH = Toneladas de caña/hectárea; TAH = Toneladas de azúcar/hectárea.

* Estimación hecha por el autor con fines comparativos.

Fuente: Cáceres y Alcarde (1995); Penatti (2013).



Figura 4. *Mucuna pruriens* como opción de asocio con caña de azúcar.

Como se indicó y exaltó en un principio una de las ventajas que se les han atribuido y destacado a las leguminosas empleadas como abono verde y coberturas vegetales, sobresale en el caso particular de la *Mucuna*, la propiedad de regular y mantener el nivel de humedad en el suelo en condiciones apropiadas; lo cual queda demostrado y evidenciado con la información generada por el estudio realizado por Cervantes (1993) y mencionado por Quirós *et al* (1998) y Sancho y Cervantes (1996) en la zona de Pejibaye de Pérez Zeledón (cuadro 16). Como se infiere de los resultados las diferencias se marcan en el tiempo y en profundidad del perfil del suelo, siendo mayor la retención de humedad en el horizonte superficial de 0 a 20 cm de profundidad, lo que constituye una ventaja en periodos secos.

Cuadro 16. Contenido de humedad de suelos con y sin cobertura de *Mucuna*, medido con sonda de neutrones.

Tratamiento	Contenido de humedad g/cc			
	14/8/1993	29/8/1993	8/11/1993	25/11/1993
Con <i>Mucuna</i>				
0 - 20 cm	0,63	0,14	0,52	0,22
20 - 40 cm	0,72	0,63	0,72	0,68
40 - 60 cm	0,75	0,72	0,78	0,75
60 - 80 cm	0,75	0,73	0,75	0,76
Sin <i>Mucuna</i>				
0 - 20 cm	0,56	0,10	0,15	0,15
20 - 40 cm	0,73	0,70	0,53	0,75
40 - 60 cm	0,75	0,73	0,76	0,75
60 - 80 cm	0,73	0,74	0,80	0,75

g/cc: Gramos por centímetro cúbico de suelo.

Fuente: Quirós *et al* (1998); Sancho y Cervantes (1996).

Conclusión

El crecimiento de la agroindustria azucarera en Costa Rica ha fundamentado buena parte de su desarrollo y crecimiento, particularmente en las últimas tres décadas, en la generación, adopción e implementación de un modelo tecnológico basado en la mecanización intensiva del cultivo, caracterizado por el uso de equipos de gran tamaño y subsoladores de profundidad, vinculados a labores de cosecha con maquinaria pesada, que han venido ocasionando de manera sistemática, serios problemas de compactación y sellamiento superficial del suelo. Lo anterior complementado felizmente, vale por justicia reconocer, por una tecnología de contenido biológico-fundamentada en la disposición de un componente genético propio con variedades de fabricación nacional, tecnologías consolidadas para el control biológico y etológico de plagas, control de enfermedades por la vía genética y racionalización en el uso de agroquímicos, entre otras.

Adicionalmente, el empleo en muchos casos desproporcionado de agroquímicos caracterizado por las aplicaciones continuas a veces crecientes de fertilizantes nitrogenados y el uso poco juicioso de herbicidas, creyendo erróneamente que en la cantidad y la alta concentración de los insumos se encuentra la fórmula del éxito productivo, vienen sistemáticamente provocando una seria afectación para la sostenibilidad futura del cultivo. Esa situación ha venido con el tiempo generando en el país serios problemas de degradación química y biológica sistemática del sustrato, provocando como resultado pérdidas importantes de materia orgánica estable y con ello de Carbono Orgánico en el Suelo (COS), disminución de la fertilidad y un estado grave de degradación con los consecuentes efectos detrimentales sobre la productividad del cultivo. Los efectos e impactos por lo general no se perciben de manera inmediata por tratarse, como señalara atinadamente Chaves (2023) de “pérdidas ocultas o invisibles de rendimiento generadas en el establecimiento, manejo y cosecha de las plantaciones comerciales de caña de azúcar” o también a “errores y omisiones técnico-administrativas que sacrifican productividad y cuestan dinero en la agroindustria azucarera” como señalara el mismo autor (Chaves 2015).

Al respecto, hay sin embargo signos y síntomas notorios y evidentes que son percibidos por los agricultores y que son erróneamente atribuidos a otras causas, como son por ejemplo la baja relación surgida entre productividad/fertilización, uso de herbicidas/control efectivo de malezas, siembra de variedades promisorias/productividad, más mecanización/menos producción, aumento de inversiones/producción, uso de tecnología/productividad, que se viene obteniendo en los últimos años en el cultivo y la agroindustria nacional. Esa realidad preocupa y debe seguir preocupando a los cañicultores virtud de su prevalencia.

A pesar de las numerosas e incuestionables mejoras e inversiones incorporadas en tecnología en el país y la actividad cañero-azucarera; la realidad es que los índices de productividad agroindustrial han venido mostrando, como es evidente y comprobable, grados preocupantes de estabilidad con poco incremento y hasta decrecimiento en los últimos años. Adicionalmente, la producción de caña sustentada en un modelo altamente mecanizado, con uso desproporcionado de agroquímicos y altos costos de producción, presenta el agravante ambiental de involucrar altos gastos energéticos expresados en términos de demanda

y empleo de combustibles fósiles. Unido a este problema se encuentra el impacto negativo provocado sobre la acidificación de los suelos, la contaminación de acuíferos, la pérdida de biodiversidad y la emisión de N_2O como Gas de Efecto Invernadero (GEI) a la atmósfera, ocasionando desbalance global del ciclo de N que favorecen el indeseable Cambio Climático.

Surge entonces ante este inconveniente panorama, la imperiosa, insoslayable e impostergable necesidad y obligación de provocar y favorecer un giro en el modelo y tecnologías empleadas, lo que sugiere investigar en tecnologías agroambientales más eficientes para el suministro de materia orgánica y N a cultivos exigentes como es el caso de la caña de azúcar. Una de estas alternativas eficientes y efectivas que debe estimularse y favorecerse consiste en la utilización de especies leguminosas cultivadas en asocio y/o rotación como abonos verdes, con el objetivo de aprovechar su importante potencial natural para fijar N_2 atmosférico y con ello inducir el suministro del nutrimento al cultivo; aportando adicionalmente materia orgánica lábil de rápida descomposición para mejorar la condición de fertilidad integral del suelo. Como apuntara Chaves (2022), es imperativo “descarbonizar la atmósfera y recarbonizar el suelo: elementos promotores de productividad y competitividad en la producción sostenible de caña de azúcar”.

En general, el uso de abonos verdes empleando especies leguminosas tiene como propósito inmediato aportar cantidades importantes de biomasa vegetal verde y seca, proteger el suelo de las altas temperaturas y la afección provocada por la intensidad de las lluvias, reduciendo significativamente la erosión hídrica y eólica, al tiempo que se mejora la fertilidad química, física y biológica vía ciclaje de nutrientes e incremento de la materia orgánica del suelo (Sanclemente 2013).

La importancia, trascendencia y relativa novedad del tema obliga sin objeción ni cuestionamiento alguno generar investigación técnicamente bien orientada y planificada, que permita identificar y conocer las plantas con mejor adaptación y aporte de Nitrógeno ofertan en los diferentes entornos nacionales donde se cultiva comercialmente caña de azúcar. El país y la agroindustria cuentan con un conocimiento básico, pero aún insuficiente sobre producción y manejo de abonos verdes, cultivos asociados y de cobertura que amerita y obliga generar tecnología específica, con un enfoque con proyección no apenas comercial y nutricional sino también ambiental. Si bien la asociación de la caña de azúcar con cultivos de frijol y maíz es por antecedente muy conocida, es muy poco lo que técnicamente se ha desarrollado, pues lo que se conoce es más experimental que obtenido a partir de bases científicas.

Pareciera en principio que el empleo de abonos verdes procurando mejorar las condiciones fisicoquímicas y microbiológicas de los suelos cañeros, favorecer el aporte de Nitrógeno y reducir su adición con fertilizantes químicos, como también aportar materia orgánica y recarbonizar con ello el suelo, se concentra con muy buena aproximación y certeza en plantas leguminosas de las especies *Mucuna*, *Crotalaria*, *Vigna*, *Canavalia* y *Kudzu*, las cuales por su potencial deben ser sin embargo experimentalmente estudiadas con rigor científico y validadas luego comercialmente previo a cualquier recomendación de

uso extensivo. La definición de las mejores opciones vegetales será definida por indicadores como: *capacidad de adaptación edafoclimática*, *duración del ciclo vegetativo (días)*, *asocio y sinergismo con la caña*, *producción de biomasa verde y seca (t/ha)*, *cantidad de N fijado (kg/ha)*, *disponibilidad y costo de la semilla (€/kg)*, entre otros.

Cualquier recomendación sobre uso de abonos verdes sin investigación científica previa calificada y, sobre todo, sin validación comercial conocida, resulta especulativa, inaceptable e irresponsable, máxime cuando la misma proviene de una institución. En esta materia se debe actuar con seriedad y mucha responsabilidad.

Como corolario cabe rescatar y reiterar lo señalado por Chaves (2020g) al manifestar, que “Hoy es tiempo de revisar con detenimiento y objetividad en su totalidad la agrocadena productiva y revalidar lo que se estime válido y pertinente que permita bajar costos e incrementar productividad. Como se ha manifestado reiteradamente, es imperativo y necesario rehabilitar los suelos cañeros sacándolos del estado de degradación en que se encuentran, retornándoles su capacidad de ser naturalmente productivos y no apenas artificialmente eficientes como acontece en muchos casos, donde las tasas de retorno demuestran relaciones poco estimulantes y atractivas.”

Literatura citada

- Adução Orgânica. Nova síntese e novo caminho para a agricultura.** 1986. São Paulo, Brasil. Coleção Brasil Agrícola. Manoel Baltazar Batista da Costa (Coordinador). ICONTE Editora Ltda. p: 36-40.
- Alfaro Portuguez, R. 1988. **Cultivos intercalados con la caña de azúcar.** San José. Boletín Informativo DIECA (Costa Rica) Año 7, N° 33. 4 p.
- Arboleda, R.F.; Granados R., G.; Halladle, G.; Herrera, J.M. 1979. **El cultivo de maíz intercalado en siembras de caña de azúcar.** En: Congreso Nacional de Ingenieros Agrónomos, 8, Bogotá. 20 p. (Mimeografiado).
- Benites Jump, JR.; Bot, A. 2014. **Agricultura de Conservación: una práctica innovadora con beneficios económicos y medioambientales.** 1ª ed. Lima, Perú. Agrobanco, noviembre. 344 p.
- Benites Jump, JR. 2016. **Las leguminosas en la alimentación y en la fertilidad de los suelos.** Lima, Perú. LEISA Revista de Agroecología 32 (2): 5-7. Consultado en octubre 2019. Disponible en <http://www.leisa-al.org/web/index.php/volumen-32-numero-2/1508-las-leguminosas-en-la-alimentacion-y-en-la-fertilidad-de-los-suelos>.
- Buenaventura O., C. 1981. **Industrialización de la Caña. Siembra de cultivos intercalados con caña de azúcar.** Antioquia, Colombia. Secretaría de Agricultura y Fomento. Compendio N° 42, agosto. 10 p.
- Cáceres, N.T.; Alcarde, J.C. 1995. **Adução verde com leguminosas en rotação com cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*).** Revista STAB: Açúcar, Alcool e Subprodutos 13(5): 16-20.

- Calegari, A. 1995. **Leguminosas para adubação verde de verão no Paraná**. Londrina: IAPAR. 118 p.
- Cervantes, C. 1993. **Informe Anual. Proyecto de balance de nutrientes**. Programa Regional de Reforzamiento Investigación en Granos y Semillas (PRIAG). IICA-CORECA-CEE.
- Cervantes, C.A.; Pérez, O.; Aguirre, D.; Díaz, C. 1993. **Introducción de frijol abono (*Mucuna deeringianum*) en sistemas de cultivo maíz y frijol en Pérez Zeledón, Costa Rica**. En: Congreso Nacional Agronómico y de Recursos Naturales, 9, San José, Costa Rica, 1993. Memoria: *Sesiones de Actualización y Perspectivas*. San José, Colegio de Ingenieros Agrónomos, octubre. Poster 209.
- Cuellar Ayala, I.; Villegas Delgado, R.; De León Ortíz, M.E.; Pérez Iglesias, H. 2002. **Manual de Fertilización de la Caña de Azúcar en Cuba**. La Habana, Cuba. Editorial PUBLINICA. 127 p.
- Cuellar Ayala, I.; De León Ortíz, M.E.; Gómez Ruíz, A.; Piñón Gómez, D.; Villegas Delgado, R.; Santana Aguilar, I. 2003. **Caña de Azúcar. Paradigma de sostenibilidad**. Primera Edición. La Habana, Cuba. Instituto de Investigaciones de la Caña de Azúcar (INICA). Unidad de Producciones Gráficas del MINREX. 175 p.
- Chaves Solera, M. 1999. **El Nitrógeno, Fósforo y Potasio en la caña de azúcar**. San José, Costa Rica. LAICA-DIECA, setiembre. 130 p.
- Chaves Solera, M.A. 2015. **Errores y omisiones técnico-administrativas que sacrifican productividad y cuestan dinero en la agroindustria azucarera**. San José, Costa Rica. LAICA-DIECA, febrero. 16 p.
- Chaves Solera, M.A. 2017. **Suelos, nutrición y fertilización de la caña de azúcar en Costa Rica**. En: Seminario Internacional Producción y Optimización de la Sacarosa en el Proceso Agroindustrial, 1, Puntarenas, Costa Rica, 2017a. Memoria Digital. San José, Costa Rica, Asociación de Técnicos Azucareros de Costa Rica (ATACORI), octubre 10 al 12, Hotel Double Tree Resort by Hilton. 38 p.
- Chaves Solera, M.A. 2019a. **Clima y ciclo vegetativo de la caña de azúcar**. Boletín Agroclimático (Costa Rica) 1(7): 5-6, julio.
- Chaves Solera, M.A. 2019b. **Entornos y condiciones edafoclimáticas potenciales para la producción de caña de azúcar orgánica en Costa Rica**. En: Seminario Internacional: *Técnicas y normativas para producción, elaboración, certificación y comercialización de azúcar orgánica*. Hotel Condovac La Costa, Carrillo, Guanacaste, Costa Rica, 2019. Memoria Digital. San José, Costa Rica, Asociación de Técnicos Azucareros de Costa Rica (ATACORI), 15, 16 y 17 de octubre, 2019. 114 p.
- Chaves Solera, M.A. 2020a. **Atributos anatómicos, genético y eco fisiológicos favorables de la caña de azúcar para enfrentar el cambio climático**. Boletín Agroclimático (Costa Rica) 2(11): 5-14, mayo.
- Chaves Solera, M.A. 2020b. **Participación del clima en la degradación y mineralización de la materia orgánica: aplicación a la caña de azúcar**. Boletín Agroclimático (Costa Rica) 2(12): 6-17, junio.
- Chaves Solera, M.A. 2020c. **Sistema radicular de la caña de azúcar y ambiente propicio para su desarrollo en el suelo**. Boletín Agroclimático (Costa Rica) 2(13): 6-18, junio. *También en*: Revista Entre Cañeros N° 17. Revista del Departamento de Investigación y Extensión de la Caña de Azúcar (DIECA). San José, Costa Rica, setiembre. p: 51-71.
- Chaves Solera, M.A. 2020d. **Clima, degradación del suelo y productividad agroindustrial de la caña de azúcar en Costa Rica**. Boletín Agroclimático (Costa Rica) 2(15): 5-13, julio.
- Chaves Solera, M.A. 2020e. **Clima y erosión de suelos en caña de azúcar en Costa Rica**. Boletín Agroclimático (Costa Rica) 2(16): 7-16, agosto.
- Chaves Solera, M.A. 2020f. **Materia orgánica y disponibilidad de nitrógeno para la caña de azúcar**. Boletín Agroclimático (Costa Rica) 2(21): 6-16, octubre.
- Chaves Solera, M.A. 2020g. **Abono verde, consociación y rotación de cultivos en caña de azúcar**. Boletín Agroclimático (Costa Rica) 2(22): 5-19, octubre.
- Chaves Solera, M.A. 2020h. **Principios conservacionistas aplicados a la caña de azúcar**. Boletín Agroclimático (Costa Rica) 2(25): 6-14, diciembre.
- Chaves Solera, M.A. 2021. **Fijación biológica de nitrógeno atmosférico (N₂) por la caña de azúcar: un importante potencial por aprovechar**. Boletín Agroclimático (Costa Rica) 3(15): 7-24, julio.
- Chaves Solera, M.A. 2022. **Descarbonizar la atmósfera y recarbonizar el suelo: elementos promotores de productividad y competitividad en la producción sostenible de caña de azúcar**. Boletín Agroclimático (Costa Rica) 4(24): 5-25, noviembre.
- Chaves Solera, M.A. 2023. **Pérdidas ocultas o invisibles de rendimiento generadas en el establecimiento, manejo y cosecha de plantaciones comerciales de caña de azúcar en Costa Rica**. Boletín Agroclimático (Costa Rica) 5(1): 5-21, enero.
- Chávez, J. 1986. **Nutrição, Adubação e Calagem do Cafeeiro**. Londrina, IAPAR, Circular N° 48. 24 p.
- Costa Rica. Ministerio de Agricultura y Ganadería. Programa Nacional de Agricultura Orgánica. 2001a. **Abonos Orgánicos para una Producción Sana**. 1ª ed. San José, Costa Rica: Editorial del Norte. 24 p.
- Costa Rica. Ministerio de Agricultura y Ganadería. Programa Nacional de Agricultura Orgánica. 2001b. **Elementos de Agroecología de suelos**. 1ª ed. San José, Costa Rica: Editorial del Norte. 24 p.
- De la Cruz Cardona, C.A. 2015. **Contribución de abonos verdes a la producción sostenible de caña de azúcar *Saccharum officinarum* (L.), en la hacienda La Floresta del municipio de Bugalagrande -Valle del Cauca**. Palmira, Colombia. Trabajo de investigación, Universidad Nacional Abierta y a Distancia, Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente. 61 p.

- Domínguez, P. 1986. **Posibilidades del girasol (*Helianthus annuus*) como cultivo intercalado con la caña de azúcar (*Saccharum spp*) en Colombia.** Cali, Tecnicaña p: 461-473.
- Duarte, J.M.; Pérez, H.E.; Pezo, D.A.; Arce, J.; Romero, F.; Argel, P.J. 1995. **Producción de maíz (*Zea mays* L.), soya (*Glycine max* L.) y Caupi (*Vigna unguiculata* L. Walp) sembrados en asocio con gramíneas del trópico húmedo.** Revista Pasturas Tropicales. Vol. 17 (2): 12- 19.
- Espíndola Trani, P. 1989. **Adubação Verde.** Campinas, São Paulo. Boletim Técnico CATI N° 197, junho. 13 p.
- Estrada Uribe, C.A. 2009. **Método alternativo de siembra de caña de azúcar: experiencia de 30 años en la Hacienda El Vergel, Pradera, Valle del Cauca, Colombia.** En: Congreso de la Asociación Colombiana de Técnicos de la Caña de Azúcar, 8, TECNICAÑA, Cali, Colombia. p: 751-760.
- García Vásquez, O.; Hernández, J.C.; Darío molineros, A. 1997. **Los Abonos Verdes: una alternativa para controlar malezas en el cultivo del maíz.** 3 Manual para Agricultores. Programa Regional de Reforzamiento a la Investigación Agronómica sobre los granos en Centroamérica (PRIAG). 44 p.
- González Maroto, C. 1975. **Análisis agroeconómico del frijol asociado con caña de azúcar.** Tesis Ing. Agr. San José, Universidad de Costa Rica, Facultad de Agronomía. 64 p.
- Hernández Fonseca, J.C. 2004. **Mucuna: una alternativa para mejorar los suelos y combatir malezas.** San José, Costa Rica. INTA/ACCS/MAG. 6 p.
- Hernani, L.C.; Endres, V.C.; Pitol, C.; Salton, J.C. 1995. **Adubos verdes de outono/inverno no Mato Grosso do Sul.** Dourados: EMBRAPA-CPAO. 93 p.
- LAICA. 2022a. **NAMA Caña de Azúcar Costa Rica. Manual Descriptivo y Operativo del Piloto Nacional.** Coordinado por Marco A. Chaves Solera y Zaida Solano Valverde. San José, Costa Rica. Liga Agrícola Industrial de la Caña de Azúcar-LAICA. 104 p.
- LAICA. 2022b. **Resumen Ejecutivo NAMA Caña de Azúcar Costa Rica.** Coordinado por Marco A. Chaves Solera y Zaida Solano Valverde. San José, Costa Rica. Liga Agrícola Industrial de la Caña de Azúcar-LAICA. 30 p.
- Maldonado, S.I. 1984. **Evaluación agronómica del sistema de caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.) asociada con leguminosas de grano frijol común (*Phaseolus Vulgaris* L), Caupi (*Vigna Unguiculata* Walp) y soya (*Glycine Max* L.).** Tesis Ing. Agrónomo. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 39 p.
- Montoya, A.O. 1985. **Análisis agroeconómico de la asociación frijol-caña de azúcar (*Phaseolus Vulgaris* L- *Saccharum officinarum* L.) bajo las condiciones de la unidad** Página 60 de 61 de docente productiva de **la Sabana Grande.** Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de Guatemala. Facultad de Agronomía. 56 p.
- Moriega, V. 1976. **Cultivo asociado caña de azúcar y maíz.** Informativo del Maíz N° 12:5. Lima, Perú. Universidad Agraria La Molina.
- Oliveira Monteiro, A. 1984. **Rotação de culturas em áreas de renovação da cana-de-açúcar.** Reunião Técnica Agronômica “Manejo da Adubação na Cultura da Cana-de-Açúcar”, Centro de Tecnologia COPERSUCAR, Divisão Agronômica, abril. p: 53-60.
- Penatti, C.P. 2013. **Adubação da cana-de-açúcar: 30 anos de experiencia.** Itu, São Paulo, Brasil. 1ª Edição. Ottoni Editora. p: 32-38.
- Penatti, C.P. 2017. **Rotação de culturas y adubação verde: recuperação da fertilidade e da saúde dos solos cultivados com a cana-de-açúcar.** Revista STAB: Açúcar, Álcool e Subprodutos 36(2): 28-31, Novembro/Dezembro.
- Penatti, C.P. 2019. **Soluções de Campo: Revitalização das soqueiras – cultura intercalar.** Revista STAB: Açúcar, Álcool e Subprodutos 37(4): 16-18, Março/Abril.
- Pérez, O.; Hernández, F.; López, A.; Balañá, P.; Solares, E.; Maldonado A. 2008. **El uso de abonos verdes como alternativa para mejorar la productividad y sostenibilidad del cultivo de la caña de azúcar.** Sugar Journal, Vol. 70, No. 9. p: 14-21.
- Quirós, E.; Meneses, D.; Cervantes, C.; Urbina, L. 1998. **Abonos Verdes: una alternativa para mejorar la fertilidad del suelo.** 1 Manual para Técnicos. Programa Regional de Reforzamiento a la Investigación Agronómica sobre los granos en Centroamérica (PRIAG). 36 p.
- Resende, A. 2000. **A fixação biológica de nitrógeno (FBN) como soporte da produtividade e fertilidade nitrogenada dos solos da cultura de caña de azúcar: uso de adubos verdes.** Tesis de Maestría en el área de Ciencias del Suelo, Universidad de Río de Janeiro, Brasil. 145 p.
- Salgado García, S.; Lagunes Espinoza, L.C.; Núñez Escobar, R.; Ortíz García, C.F.; Aranda Ibáñez, E.M. 2012. **Caña de Azúcar: Producción sustentable.** México. Colegio de Postgraduados. Editorial del Colegio de Postgraduados. p: 211-219.
- Sanclemente, O.E. 2013. **Efecto de *Mucuna pruriens* sobre la actividad simbiótica rizosférica y la movilización de N y P en un sistema de cultivo: maíz (*Zea mays* L.) y soya (*Glycine max* L.).** Tesis Doctoral. Universidad Nacional de Colombia, Sede Palmira. 123 p.
- Sancho Mora, F.; Cervantes, C. 1996. **El uso de plantas de cobertura en sistemas de producción de cultivos perennes y anuales en Costa Rica.** En: Congreso Nacional Agronómico y de Recursos Naturales, 10, San José, Costa Rica, 1996. Memoria: *Suelos*. San José, Colegio de Ingenieros Agrónomos, Asociación Costarricense de Fitopatología y Asociación Costarricense de Suelos: EUNED, EUNA. Volumen III. p: 181-188.
- Vargas Jara, D.; Chaves Solera, M. 2011. **Agricultura Familiar: una opción viable de sustento para el pequeño agricultor.** En: Congreso

- Azucarero Nacional ATACORI “MSc. Teresita Rodríguez Salas (†)”, 18, Colegio de Ingenieros Agrónomos, San José, Costa Rica, 2011. Memoria. San José, Asociación de Técnicos Azucareros de Costa Rica (ATACORI), 8 y 9 de setiembre del 2011. 19 p. Conferencia Electrónica en Power Point. 34 láminas.
- Vasconcellos, C.A.; Pacheco, E.B. 1987. **Adubação verde e rotação de culturas**. Belo Horizonte. Informe Agropecuario 13(137): 37-40, março.
- Velarde Sosa, E.; De León Ortíz, M.; Cuellar Ayala, I.; Villegas Delgado, R. 2004. **Producción y Aplicación de Compost. Orientado a las condiciones de la agroindustria azucarera**. Primera Edición. La Habana, Cuba. Unidad de Producciones Gráficas del MINREX. 182 p.
- Veliz Ramos, L.M. 2018. **Efecto del uso de *Canavalia ensiformis*, *Crotalaria juncea* y *Mucuna sp* como abono verde sobre el rendimiento de semilla de caña de azúcar**. Escuintla, Guatemala.
- Tesis de Grado. Facultad de Ciencias Ambientales y Agrícolas, Universidad Rafael Landívar, junio. 54 p.
- Wiseman, J. 2005. **El empleo de Abonos Verdes**. Mayo. Sugar Journal. 7 p.
- White, P. 2020. **Sostenibilidad de la caña de azúcar y captación de Carbono del suelo**. Sugar Journal, January. p: 27-28.
- Wutke, E.B.; Arévalo, R.A. 2006. **Adubação verde com leguminosas no rendimento da caña-de-açúcar e no manejo de plantas infestantes**. Serie Tecnología APTA. boletim Técnico IAC N° 198. 28 p.
- Zúñiga V., H.; Mantilla G, C.E.; Raigosa, J. 1981. **Factibilidad agronómica y entomológica de la siembra intercalada caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.) y frijol (*Phaseolus vulgaris* L.)**. Acta Agronómica 31(1/4): 67-77.

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