

## Periodo 08 de junio al 21 de junio de 2020

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, recomendaciones y notas técnicas, 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 SEMANA DEL 25 DE MAYO AL 31 DE MAYO

En la figura 1 se puede observar el acumulado semanal de lluvias sobre el territorio nacional.

Los distritos que sobrepasaron los 200 mm de lluvia fueron: Upala, Horquetas de Sarapiquí y Guápiles de Pococí, Palmar de Osa, Puerto Jiménez de Golfito, Corredores, San Vito de Coto Brus, Cóbano y Paquera de Puntarenas; mientras Aguas Arcas de San Carlos sobrepasó los 300 mm.

A nivel nacional, los registros de lluvia de 117 estaciones meteorológicas consultadas muestran que el jueves y el miércoles, respectivamente, fueron los días más lluviosos; mientras que el lunes presentó los menores acumulados, con un 42% de lo acumulado el jueves.

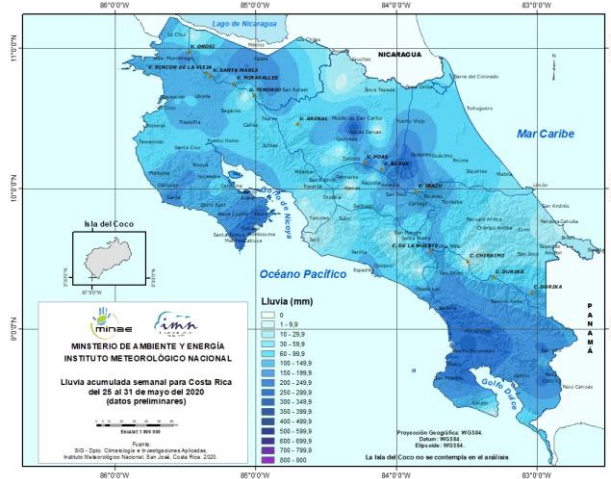


Figura 1. Valores acumulados de la precipitación (mm) durante la semana del 25 de mayo al 31 de mayo del 2020 (datos preliminares).

## RESUMEN DE LAS CONDICIONES DE LA SEMANA DEL 01 DE JUNIO AL 07 DE JUNIO

En la figura 2 se puede observar el acumulado semanal de lluvias sobre el territorio nacional.

Los distritos que sobrepasaron los 400 mm de lluvia fueron Parrita y Quepos.

A nivel nacional, los registros de lluvia de 104 estaciones meteorológicas consultadas muestran el lunes como el día más lluvioso, mientras el martes presentó los menores acumulados, con un 25% de lo acumulado el lunes.

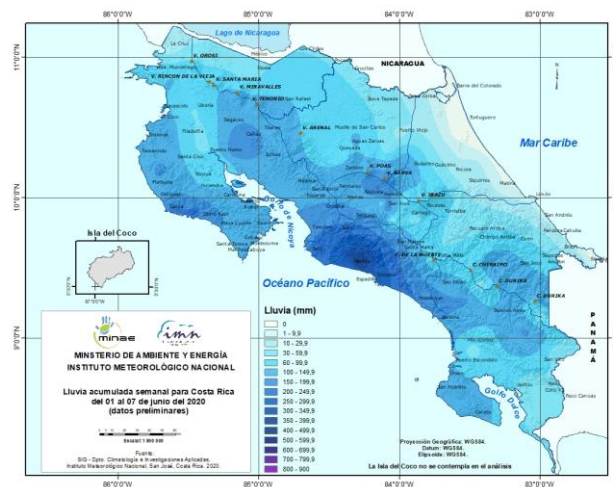


Figura 2. Valores acumulados de la precipitación (mm) durante la semana del 01 de junio al 07 de junio del 2020 (datos preliminares).

Junio 2020 - Volumen 2 – Número 12

## PRONÓSTICO PARA LAS REGIONES CLIMÁTICAS PERIODO DEL 08 AL 14 DE JUNIO DE 2020

Una semana lluviosa con posibilidad de tormenta eléctrica para el Valle Central. La vertiente Pacífico inicia la semana con lluvias incluso en las regiones costeras que al avanzar la semana se concentrará en los sectores montañosos con presencia de tormenta eléctrica. Caribe y Zona Norte inician la semana con aguaceros en las zonas altas, volviéndose más generalizado hacia la segunda mitad de semana, con presencia de tormenta eléctrica.

## PRONÓSTICO PARA LAS REGIONES CAÑERAS PERIODO DEL 08 AL 14 DE JUNIO DE 2020

De la figura 3 a la figura 10, se muestran los valores diarios pronosticados de las variables lluvia (mm), velocidad del viento (km/h) y temperaturas extremas (°C) para las regiones cañeras.

Se prevén un inicio de semana con pocas lluvias y condiciones más lluvias en la segunda mitad principalmente para las zonas cañeras Valle Central Este, Valle Central Oeste, Turrialba y Zona Sur. Las regiones cañeras Guanacaste Este, Guanacaste Oeste y Zona Norte presentarán una reducción de la velocidad del viento hacia el fin de semana; mientras Valle Central Este, Valle Central Oeste, Zona Sur y Puntarenas mantendrá velocidad estable a lo largo de la semana; por su parte la zona de Turrialba presentará un incremento en el viento a mitad de semana. Las áreas cultivadas sostendrán amplitudes térmicas homogéneas, con los valores superiores de la temperatura máxima y temperatura mínima a mediados de semana.

*“La onda tropical #4 alcanzará el territorio nacional el día de mañana, mientras la onda tropical #5 se estima que se aproxime a Costa Rica hacia el fin de semana.”*

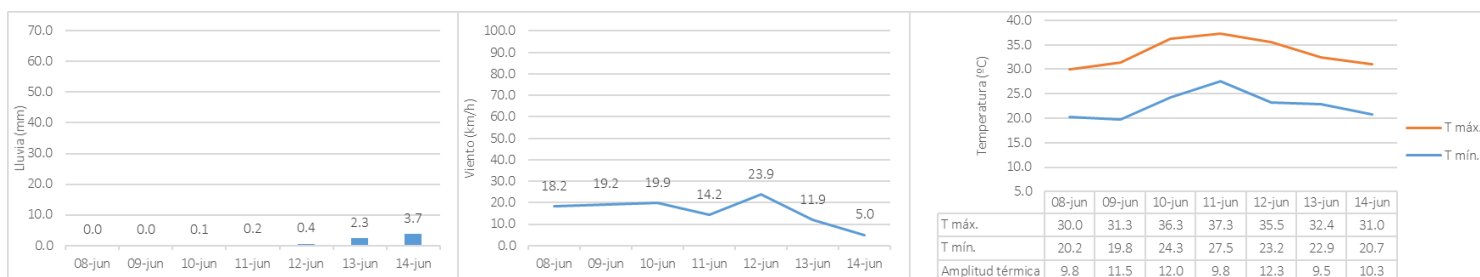


Figura 3. Pronóstico de precipitación (mm), viento (km/h) y temperatura (°C) para el periodo del 08 de junio al 14 de junio en la región cañera Guanacaste Este.

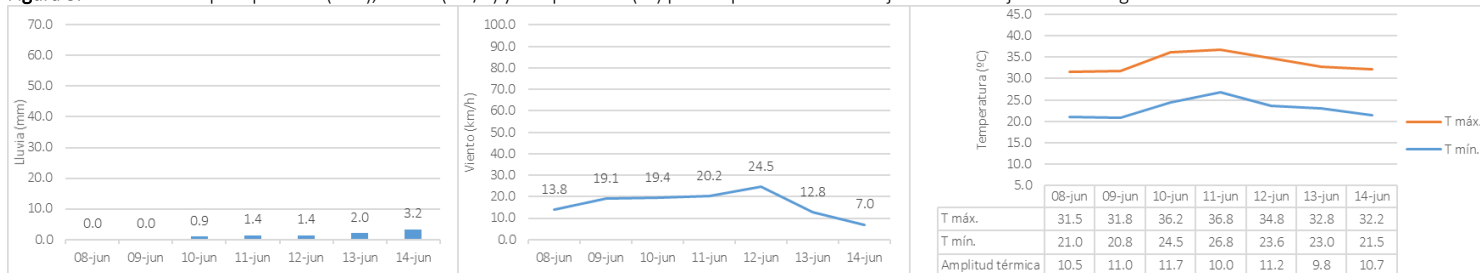


Figura 4. Pronóstico de precipitación (mm), viento (km/h) y temperatura (°C) para el periodo del 08 de junio al 14 de junio en la región cañera Guanacaste Oeste.

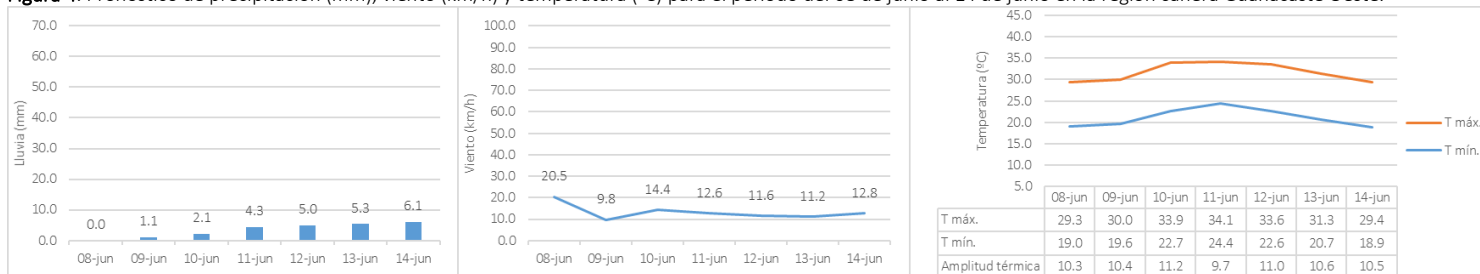


Figura 5. Pronóstico de precipitación (mm), viento (km/h) y temperatura (°C) para el periodo del 08 de junio al 14 de junio en la región cañera Puntarenas.

Junio 2020 - Volumen 2 – Número 12

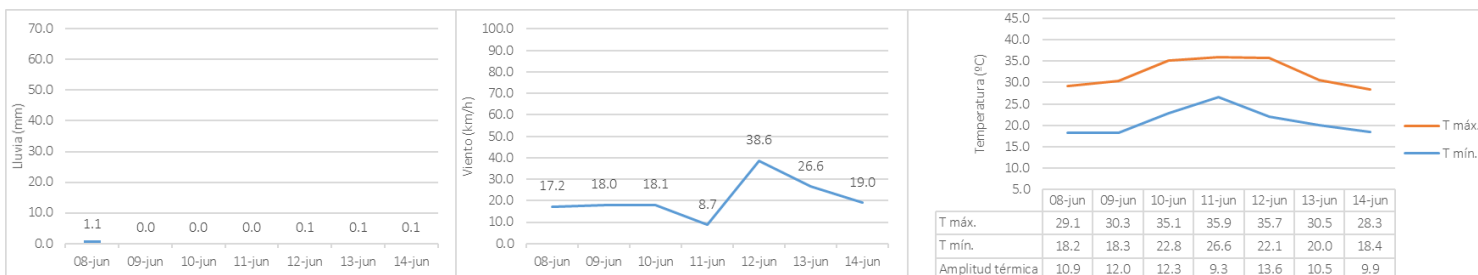


Figura 6. Pronóstico de precipitación (mm), viento (km/h) y temperatura (°C) para el periodo del 08 de junio al 14 de junio en la región cañera Zona Norte.

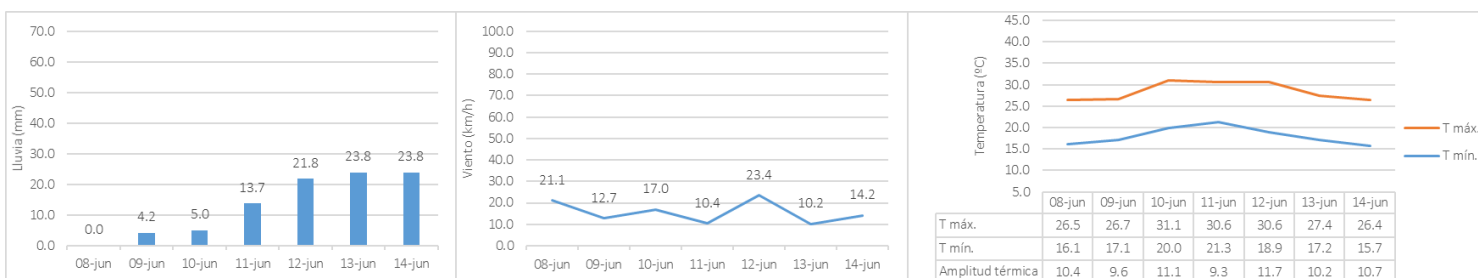


Figura 7. Pronóstico de precipitación (mm), viento (km/h) y temperatura (°C) para el periodo del 08 de junio al 14 de junio en la región cañera Valle Central Este.

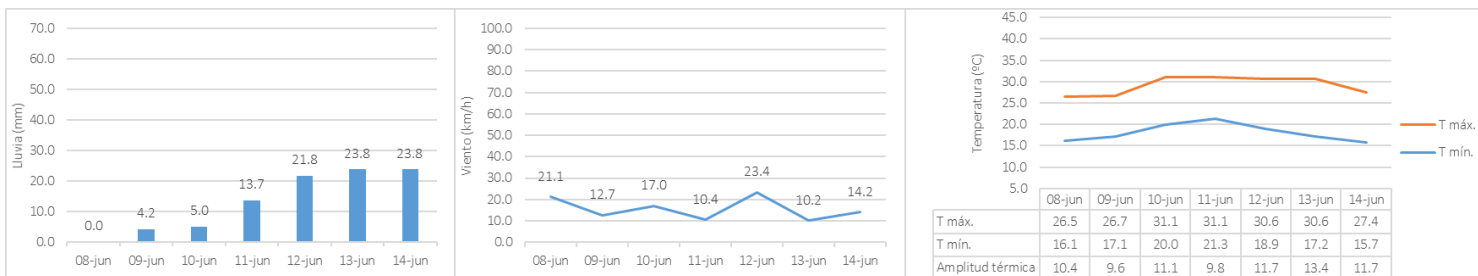


Figura 8. Pronóstico de precipitación (mm), viento (km/h) y temperatura (°C) para el periodo del 08 de junio al 14 de junio en la región cañera Valle Central Oeste.

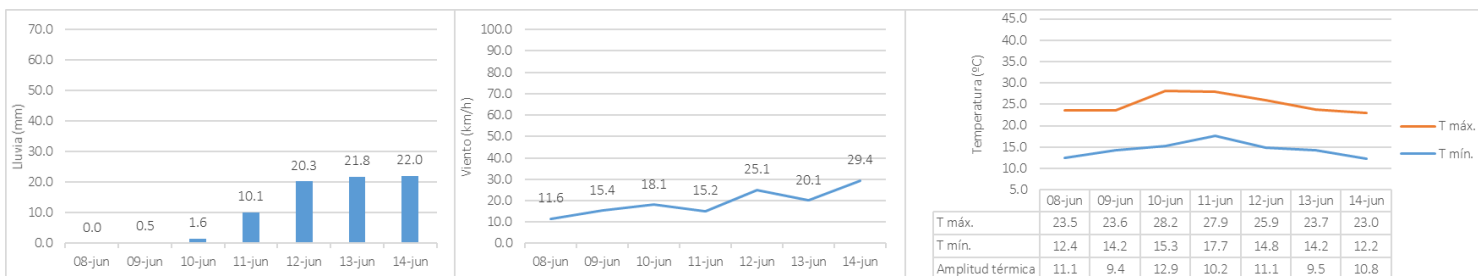


Figura 9. Pronóstico de precipitación (mm), viento (km/h) y temperatura (°C) para el periodo del 08 de junio al 14 de junio en la región cañera Turrialba.

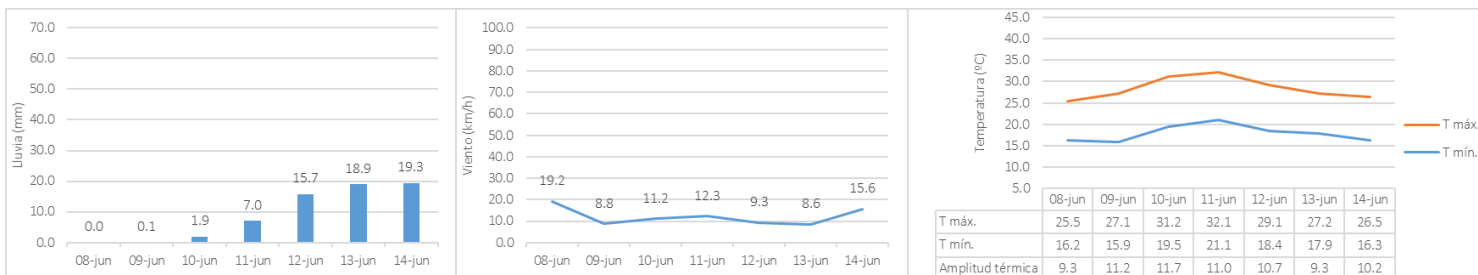


Figura 10. Pronóstico de precipitación (mm), viento (km/h) y temperatura (°C) para el periodo del 08 de junio al 14 de junio en la región cañera Zona Sur.

Junio 2020 - Volumen 2 – Número 12

## TENDENCIA PARA EL PERIODO DEL 15 DE JUNIO AL 21 DE JUNIO DE 2020

Se esperan condiciones lluviosas a lo largo de la semana para la vertiente Pacífico y Valle Central con lluvias aisladas en la Zona Norte y vertiente Caribe.

## HUMEDAD DEL SUELO ACTUAL PARA REGIONES CAÑERAS

En la figura 11 se presenta el porcentaje de saturación de humedad de los suelos (%) cercanos a las regiones cañeras, este porcentaje es un estimado para los primeros 30 cm del suelo y válido para el día 08 de junio del 2020.

Las regiones de Guanacaste Oeste y Guanacaste Este presentan porcentajes de saturación que varían entre 15% y 100%. Los porcentajes de la Región Puntarenas están entre 15% y 60%.

Los suelos de la Región Valle Central Oeste presentan entre 30% y 75% de humedad, mientras que los de la Región Valle Central Este tienen entre 30% y 90%. La Región Norte está entre 15% y 45%.

La humedad del suelo en la Región Turrialba Alta (> 1000 m.s.n.m.) está entre 15% y 100%, mientras que la Región Turrialba Baja (600-900 m.s.n.m.) se encuentra entre 15% y 45%. La Región Sur presenta porcentajes de saturación variables, que van desde 0% hasta el 100%.

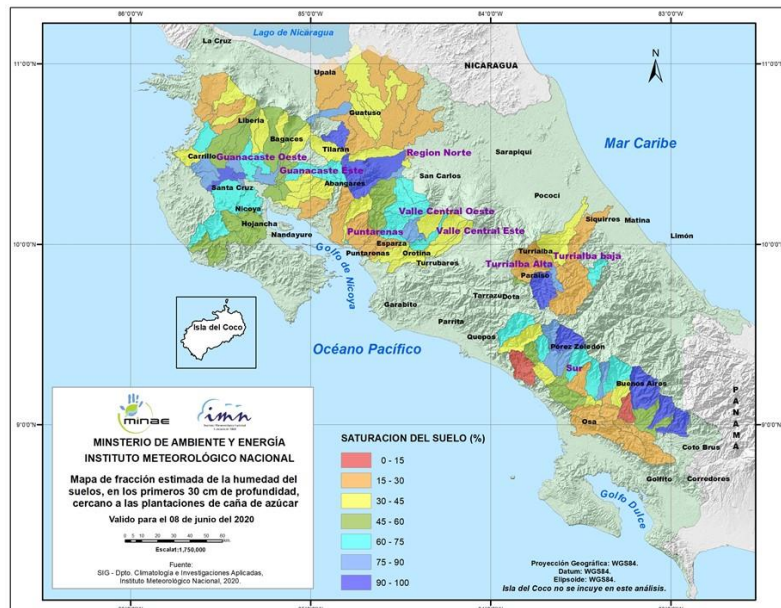


Figura 11. Mapa de fracción estimada de la humedad en porcentaje (%), a 30m de profundidad, cercano a las plantaciones de caña de azúcar, válido para el 08 de junio del 2020.

## DIECA E IMN LE RECOMIENDAN

Debido al inicio de la temporada de ondas tropicales del océano Atlántico, se recomienda tomar medidas preventivas y de amortiguamiento en cuanto al incremento de las lluvias que prevalecerán durante aquellos días con efecto directo de ondas o tormentas tropicales. Este atento de las indicaciones emitidas por el IMN.

## CRÉDITOS BOLETÍN AGROCLIMÁTICO

## Producción y edición:

Meteoróloga Karina Hernández Espinoza  
Ingeniera Agrónoma Katia Carvajal Tobar  
Geógrafa Nury Sanabria Valverde  
Geógrafa Marilyn Calvo Méndez

Departamento de Climatología e Investigaciones Aplicadas

Departamento de Meteorología Sinóptica y Aeronáutica

INSTITUTO METEOROLÓGICO NACIONAL

## ALERTA FITOSANITARIA

## Plaga del salivazo.

Ing. Agr. Jose Daniel Salazar Blanco.

jsalazar@laica.co.cr

Jefe de Programa Manejo de Plagas (DIECA-LAICA)

La perspectiva climática del comportamiento de El Niño Oscilación del Sur (ENOS) para los próximos meses, muestra una fase ENOS-Neutro para el periodo junio a agosto, pero más adelante en el año podría pasar a la condición ENOS-Neutro con tendencia a ENOS-La Niña, por lo que se podrían presentar lluvias por encima del promedio. La Canícula se estima que sea percibida únicamente en la región climática Pacífico Norte, entre julio y agosto 2020. Mientras en este mismo periodo se prevén lluvias entre 10 a 30% más de lo normal en las regiones Valle Central, Pacífico Central y Pacífico Sur.

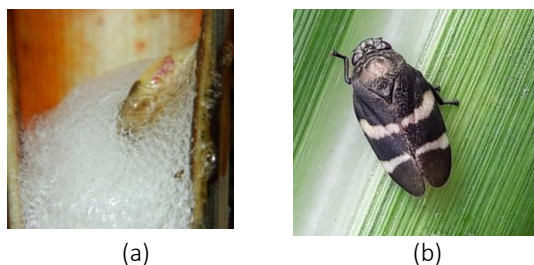


Figura 1. Huevo (a) y adulto (b) del salivazo.

Con el establecimiento del periodo de lluvias, las primeras generaciones de ninfas del salivazo se forman entre 20 a 25 días después, necesitando para eso de un determinado y persistente excedente hídrico en el suelo. Días sin lluvia durante el periodo lluvioso (condiciones típicas de la canícula), con alta humedad

relativa, buena radicación solar y alta temperatura son condiciones que favorecen la presencia de plagas, siendo el caso del salivazo el de mayor impacto (figura 2), pero influyendo también sobre otros insectos chupadores como chinche de encaje, áfidos y cigarrita antillana.

Ante esta eventualidad se sugiere realizar observaciones en las plantaciones e iniciar de inmediato con los procesos de monitoreo de estadios de ninfa y adultos para implementar medidas de prevención y control oportunos, tal como se indica en el cuadro 1 e identificando la plaga mediante figura 1.



Figura 2. Consecuencias del mal manejo del salivazo.

**Cuadro 1.** Recomendaciones para el manejo integrado de plagas en los próximos meses.

Actividad	Meses	Objetivo
Mejorar los drenajes	junio - julio	Evitar humedad favorable para la presencia de ninfas.
Control oportuno de malezas	junio - julio	Evitar la presencia de plantas hospederas de la plaga y competencia al cultivo.
Desaporca y aporca	junio - julio	Remover el suelo para exponer huevos y ninfas al sol y a depredadores. Enterrarlos con suelo a más profundidad
Fertilización	junio - julio	Desarrollo de plantaciones vigorosas.
Muestreos de ninfas y adultos	junio - octubre	Determinación de los niveles de control (0,4 ninfas/tallo y 0,2 adultos /tallo).
Colocación de trampas amarillas adhesivas	junio - octubre	Monitoreo y control de adultos para evitar incremento de poblaciones.
Muestreos pre-aplicación	junio - octubre	Determinar parasitismo nativo.
Aplicación de Metarhizium	junio - noviembre	Mantener la población por debajo de los niveles de daño.
Muestreos pos-aplicación	julio - noviembre	Valorar la mortalidad por Metarhizium.
Aplicación de productos químicos	agosto - setiembre	Bajar niveles de población en casos extremos. Sólo cuando lo amerite.

## NOTA TÉCNICA

### Participación del clima en la degradación y mineralización de la materia orgánica: aplicación a la caña de azúcar.

Ing. Agr. Marco A. Chaves Solera, M.Sc.

mchavez@laica.co.cr

Gerente. Departamento de Investigación y Extensión de la Caña de Azúcar (DIECA-LAICA)

Entre las notables propiedades y atributos anatómicos, genético y eco fisiológicos que posee y distinguen a la planta de caña de azúcar, como lo señalara con detalle Chaves (2020c), está en primera instancia la de producir una gran cantidad de materia verde o materia seca, estimada en hasta 280 toneladas métricas por hectárea por año, lo cual se fundamenta en la gran área foliar que dispone, establecida en 4 a 12 m<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>. También se agrega la de poseer un excepcional sistema de raíces que se ha subdividido para su mejor comprensión en tres subsistemas, donde las características absorbentes del situado más superficial favorecen su desplazamiento horizontal, logrando cubrir una amplia área de exploración que asegura en buena parte su autosuficiencia hídrica y nutricional. Los otros dos subsistemas aportan sostén (anclaje) y permiten acceder a agua y a nutrimentos en profundidades importantes del suelo. Señala Chaves (2020c) al respecto que la caña *“Dispone de un poderoso sistema radicular compuesto de tres tipos de raíces diferentes: a) superficiales-ramificadas y absorbentes, b) de fijación más profundas y c) cordones que profundizan hasta 6 m que le dan una enorme capacidad de exploración (vertical, horizontal) en el suelo y con ello absorción nutricional y de agua.”*

Esas dos propiedades particulares del cultivo revisten una importancia relevante en el abordaje del tema de la materia orgánica (MO) y su descomposición en el suelo, como será demostrado más adelante, en consideración de que aportan los elementos distintivos que potencian y favorecen una alta producción de biomasa y material orgánico y, por otro lado, una gran capacidad de absorción de nutrimentos esenciales. Pretende como objetivo el presente artículo, ahondar en el tema de la MO, su degradación, mineralización y liberación de Nitrógeno (N) en el suelo, todo visualizado y aplicado al cultivo de la caña de azúcar en Costa Rica.

#### Materia orgánica del suelo

Previo a comentar sobre MO es necesario señalar para mejor comprensión, que el suelo constituye en su integralidad un complejo de elementos físicos, químicos y biológicos que interactúan y dan lugar a la conformación del substrato natural esencial sobre el cual se desarrolla la vida en la superficie de la tierra. El suelo es el hábitat de las plantas, los animales y los microorganismos. Es importante por esto, tener presente que el suelo se compone básicamente de dos partes muy distintas: 1) la mineral inorgánica que considera además el aire y el agua, y 2) el complejo orgánico. La composición del suelo es muy dinámica, inestable y variable en el tiempo, aún para un mismo lugar, por cuanto hay elementos que cambian y condicionan otros en gran parte determinados e impactados por el entorno agroclimático. Se estima en teoría que un suelo ideal debería tener una composición (volumétrica) distribuida en las siguientes proporciones porcentuales: material mineral (45%), aire (25%), agua (25%) y componente orgánico (5%). La fracción mineral se conforma de elementos inorgánicos como arcillas, limos, arenas, piedras, gravas, etc. (Fassbender, 1982).

La MO del suelo comprende los residuos vegetales o animales que se encuentran contenidos en el suelo en grados variables de composición, en íntima relación con los constituyentes minerales. La MO del suelo está bajo ese principio formada por compuestos que provienen de restos de organismos, ya sea vegetales y/o animales y sus productos de desecho. Por su naturaleza química, la MO está constituida por compuestos de complejidad variable que se encuentran en un dinámico y continuo estado de transformación, desde los residuos recientemente incorporados hasta las complejas estructuras alcanzadas luego de padecer períodos prolongados de transformación físico-química y microbiológica.

### ¿Que compone la materia orgánica?

La anotación genérica nombrada y reconocida como MO considera la fracción orgánica que incluye los residuos provenientes de plantas y animales que se encuentran en el suelo en fases variables de descomposición, conteniendo por ello residuos frescos, parciales y también totalmente descompuestos en formas estables (humus). Los residuos que provienen de plantas incluyen hojas, tallos, ramas, flores, frutos, raíces, etc., siendo este origen el que más aporte cuantitativo proporciona al sistema. En los animales (bovinos, equinos, suinos, aves, caprinos, etc.) son el estiércol, heces, cuerpos muertos, etc. Desde la perspectiva química, la MO es toda sustancia que presenta en su composición Carbono tetravalente, teniendo sus cuatro puntos de intercambio cubiertos por Hidrógeno, Oxígeno, Nitrógeno, Azufre u otros elementos; el Carbono es determinante, razón por la cual su química se conoce como “Química del Carbono”. De acuerdo con FAO (2017b), “El carbono orgánico del suelo (COS) es una pequeña parte del ciclo global del carbono, el cual implica el ciclo del carbono a través del suelo, la vegetación, el océano, y la atmósfera.”

En el caso particular de la caña de azúcar, el componente orgánico principal y residual se conforma básicamente de hojas verdes, hojas secas, tallos industrializables y no industrializables (mamonos) verdes y secos, inflorescencias, raíces, cepas, cogollos y malezas; así como también bagazo, cachaza y cenizas producto de la quema de plantaciones en el campo e incineración del bagazo en las calderas de los ingenios (figura 1). Adicionalmente se tienen aguas residuales y vinazas resultantes de la fermentación de etanol conteniendo carga orgánica. Chaves (1985ab, 2001b, 2007) ha realizado varias estimaciones y proyecciones de los volúmenes de residuos producidos por la agroindustria cañero-azucarera costarricense, lo que revela el enorme potencial de uso existente.

Los residuos orgánicos presentan en su composición entre 60-90% de agua dependiendo de la especie, su estado fenológico, grado de maduración y condición hídrica, entre otros factores. De manera general las plantas y los animales poseen, entre otros, los siguientes componentes: a) carbohidratos como azúcares, almidones, celulosa, hemicelulosa y poliuronidos (pectina, gomas, mucilagos), b) ácidos orgánicos, c) aldehídos, cetonas, alcoholes, d) ligninas, e) compuestos cíclicos (hidrocarbonatos, fenoles, quinonas y taninos), f) alcaloides y bases orgánicas, g) proteínas, aminoácidos, aminas y otros compuestos

nitrogenados, h) enzimas, hormonas, vitaminas, pigmentos, sustancias antibióticas y otros componentes, i) grasas, aceites, resinas, terpenos, j) constituyentes minerales como fosfatos, sulfatos, carbonatos, clorados, nitratos y otras sales conteniendo potasio, calcio, magnesio, sodio y micronutrientes. Como se infiere, la composición y constitución estructural y físico-química de los materiales que fácil y simplemente denominamos MO es muy compleja; lo cual se traslada y refleja en su fase de descomposición (Kiehl, 1985). La facilidad, los tiempos, procesos involucrados y los costos asociados de descomposición y adecuación de los materiales son muy variables, lo cual impide generalizar.



Figura 1. Residuos vegetales producidos por una plantación de caña de azúcar.

### Influencia, importancia y beneficios de la materia orgánica

Sobre la MO gravita la mayoría de los principios relativos y vinculados con la estructuración y composición del suelo y la condición de su fertilidad natural; ahí su verdadera relevancia y valor de uso; además del vinculado con la incuestionable e inevitable necesidad de atender y resolver eventuales problemas de contaminación y salud pública que podrían derivarse de su mal uso. El valor agregado potencial y grandes ventajas ofrecidas por el manejo óptimo de los residuos y materiales orgánicos derivados en este caso de la agroindustria azucarera y alcoholera nacional son técnica, institucional y económicamente muy rentables y favorables, como está demostrado (Chaves, 1985ab, 2001b, 2007).

La MO es importante para el medio ambiente por su capacidad de limitar el daño físico, mejorar la suplencia y disponibilidad de nutrientes y favorecer la actividad biológica. Señala FAO (2017a) al respecto, que “Los organismos del suelo (biota), incluyendo los microorganismos, usan los residuos de las plantas y los animales y los derivados de la materia orgánica como alimentos. A medida que descomponen los residuos y la materia orgánica, los nutrientes en exceso (nitrógeno, fósforo y azufre)

*son liberados dentro del suelo en formas que pueden ser usadas por las plantas (disponibilidad de nutrientes). Los productos de deshecho producidos por los microorganismos contribuyen a la formación de la materia orgánica del suelo. Los materiales de desecho son más difíciles de descomponer que el material original de las plantas y los animales, pero pueden ser usados por un gran número de organismos.”*

En términos generales los beneficios que provee y aporta la MO al suelo, en este caso sembrado con caña de azúcar, son potencialmente amplios y muy diversos en su naturaleza, pues participa en procesos que reproducen efectos físicos, químicos y biológicos al cultivo, los cuales se proyectan en la rentabilidad y la calidad agroindustrial de su materia prima (Chaves, 1999b, 2001a, 2010, 2016ab, 2017a; FAO, 2017a; Fassbender, 1982; Kiehl, 1985). Entre los principales e incuestionables beneficios aportados por la MO y la actividad biológica promovida en un suelo cultivado, se tienen entre otros los siguientes:

#### a) Físicos:

- Mejora la estructura del suelo mediante la formación de agregados estables que benefician el movimiento del agua, el aire y las raíces.
- Interviene incrementando el espacio poroso.
- Reduce la densidad aparente del suelo y con ello su potencial de compactación.
- Atenúa la propiedad de plasticidad, pegajosidad y adherencia en suelos arcillosos en estado húmedo.
- Disminuye los efectos adversos provocados por el uso excesivo de maquinaria agrícola sobre la estructura y biología del suelo.
- Aumenta la conductividad hidráulica del suelo favorecido por la mejora provocada en la porosidad (macro y microporos) formados en la interface entre las partículas orgánicas y minerales.
- La infiltración, lixiviación, percolación y movimiento del agua, sea de riego o lluvia, se ve mejorado.
- Disminuye el escurrimiento superficial del agua evitando las pérdidas de suelo y nutrientes.
- Reduce la evaporación directa del agua desde el suelo.
- Evita el “encostramiento” superficial de los suelos.
- Amplía e incrementa notablemente por su mayor superficie específica la capacidad de retención de agua.
- Mantiene la temperatura del suelo en grados bajos y aceptables.

- Tiende a dar una coloración gris o castaño oscuro que determina una mayor absorción de calor favoreciendo la germinación, el ahijamiento y la actividad microbial.
- Favorece una mayor capacidad de exploración lateral y en profundidad del sistema radical en la superficie del suelo.
- El rastrojo baja la energía cinética de la lluvia y con ello mitiga la erosión y perturbación del suelo.
- Contribuye significativamente a reducir la erosión causada por factores climáticos adversos y la compactación, debido a su menor conductividad térmica respecto a la fracción mineral colindante.
- Aumenta notablemente la superficie específica del suelo con los beneficios adyacentes que se derivan para fines electroquímico y de fertilidad potencial.

#### b) Químicas:

- Interviene en la regulación y equilibrio de la reacción del suelo medida y expresada por su índice de pH, impidiendo cambios abruptos (poder tampón).
- Incrementa notablemente la Capacidad de Intercambio Iónico (CIC) (cationes, aniones) favoreciendo su adsorción e intercambio dinámico. Se estima que la CIC de la MO puede llegar a ser 10 a 20 veces mayor que la de los coloides minerales. El efecto positivo de la MO es mayor en suelos arenosos o meteorizados como los del orden Ultisol.
- La MO aporta y provee una mayor cantidad de nutrimentos esenciales disponibles a las plantas.
- Eleva la capacidad de adsorción y disponibilidad de nutrimentos.
- Ejerce una suplencia importante de nutrimentos esenciales para las plantas.
- Influye en la disponibilidad de Nitrógeno (N) Fósforo (P) y Azufre (S), reciclados por humificación y que las raíces pueden localizar en la masa biótica.
- El aporte, almacenamiento y suministro de N en su forma orgánica resulta determinante, pues no se dan pérdidas por volatilización, lixiviación o escorrentía como si ocurre con las formas Amoniacal ( $\text{NH}_4^+$ ) y Nítrica ( $\text{NO}_3^-$ ). En la MO el N se encuentra en forma de proteínas, nucleoproteínas, aminoácidos, polipéptidos, enzimas y otros compuestos en pequeñas cantidades que le dan estabilidad.
- Micronutrimentos como Hierro (Fe), Boro (B) y Zinc (Zn) pasan a ser disponibles para las plantas.
- Genera coloides orgánicos por descomposición.

- Puede permitir la formación de quelatos con algunos micronutrientes favoreciendo su disponibilidad para las plantas.
- Permite la corrección de sustancias tóxicas (Aluminio (Al), Fe, Manganeseo (Mn), Cobre (Cu), metales pesados como Mercurio (Hg), Plomo (Pb), Selenio (Se), etc.).
- Aumenta la disponibilidad de micronutrientes en las plantas, tales como: Fe, Mn, Zn y Cu.

### c) Biológicas:

- Posibilita y habilita la actividad biológica y la operación del suelo como un “sistema vivo”.
- Favorece la actividad de microorganismos asociados a la MO que benefician a las plantas, ejerciendo importantes funciones como la descomposición de residuos orgánicos y la transformación de productos químicos, contribuyendo al incremento de la productividad.
- Promueve el almacenamiento de energía metabólica y energía necesaria para el crecimiento de la microflora del suelo.
- Provee estabilidad ecosistémica aumentando la capacidad de recuperación de los ecosistemas perturbados.
- Desempeña un papel determinante en el crecimiento vegetal, pues puede inhibir o impulsar su desarrollo.
- Estimula el desarrollo y la actividad de los microorganismos suministrando la energía y los nutrientes necesarios para la vida.
- Ayuda a la nutrición fosfórica de las plantas favoreciendo la actividad de microorganismos fosfolubilizadores; los cuales actúan sobre los fosfatos insolubles en el suelo, enriqueciéndolo y generando una condición más fértil y nutrida para la alimentación del cultivo.
- Favorece la presencia de lombrices que mejoran la estructura y la fertilidad del suelo.

En términos generales, la incorporación de materiales orgánicos en cultivos como la caña es ideal para proteger y conservar el suelo, regular la temperatura, favorecer la actividad biológica, suplir nutrientes, promover la transformación de la MO en sustancias y componentes aprovechables para las plantas. Se concibe y asocia ineludiblemente de manera razonable la MO al término fertilidad del suelo y al concepto de productividad, más que a otra cosa. O sea, lo que ofrece potencialidad nutricional a un suelo no es sólo su contenido de nutrientes, sino todos aquellos factores tanto químicos como físicos y biológicos que

influyen sobre la disponibilidad y accesibilidad de esos nutrientes por la planta. La MO constituye un factor favorable determinante y diferenciador en esa relación.

### Degradación y Mineralización orgánica

Una vez depositada la MO en el suelo sigue un proceso activo de duración variable de desagregación y descomposición inducida por los microorganismos del suelo que llega hasta sus componentes básicos; dicho proceso natural de carácter bioquímico y microbiológico es conocido como mineralización. La mineralización de la MO es conceptualizada y definida como el proceso por el cuál esa materia es degradada y transformada por los microorganismos presentes en el suelo, en CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O y compuestos minerales básicos tales como N<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S, Fe (+2), entre otros. Como resultado los componentes químicos contenidos se liberan en formas inorgánicas solubles, que pueden quedar disponibles en el medio para ser absorbidas y procesadas por las plantas. La MO se conceptúa como un almacén potencial de nutrientes, pues supe principalmente N, P, S y micronutrientes al suelo.

En este complejo proceso activo y dinámico, los microorganismos presentes en el suelo dotados del componente enzimático requerido, obtienen la energía necesaria para realizar los procesos metabólicos implicados, por medio de los cuales inducen inicialmente la ruptura de los enlaces de las macromoléculas orgánicas provenientes de los residuos vegetales, la biomasa, la necro masa microbiana existente y los exudados orgánicos provenientes de las raíces, para transformarlos en moléculas inorgánicas de bajo peso molecular. Mediante reacciones químicas de oxidación e hidrólisis posterior, esas sustancias son oxidadas catabólicamente a compuestos inorgánicos que pueden ser inmovilizados en el suelo, volatilizados al aire, lixiviados a las aguas profundas, adsorbidos en el complejo de cambio o absorbidos por las plantas y los microorganismos. El mecanismo de mineralización del N corresponde a la conversión de N-orgánico en N-inorgánico en un proceso intervenido por microorganismos del suelo. Como se infiere, en realidad operan principios catabólicos por medio de los cuales hay degradación de materiales orgánicos transformándolos en productos finales simples de bajo peso molecular, con el fin de extraer de ellos energía química y convertirla en una forma útil para la célula. De manera concatenada operan también los procesos metabólicos anabólicos que favorecen la síntesis de compuestos celulares a

partir de precursores de bajo peso molecular, por lo cual se conoce también como “biosíntesis”. La mineralización ocurre en el suelo durante el proceso de “compostaje de la MO” y también en las enmiendas orgánicas incorporadas al suelo con el objeto de mejorar sus propiedades físicas y/o químicas.

El mecanismo de la mineralización involucra tres grandes procesos sucesivos que pueden resumirse como sigue:

**Aminación** → **Amonificación** → **Nitrificación**

El mismo puede a su vez desagregarse como N en pasos intermedios como se anota a continuación:

**N-Orgánico** → **N-Amónico** → **N-Amoniacal** → **N-Nitritos** → **N-Nitratos**

Las transformaciones bioquímicas involucradas están intervenidas por microorganismos específicos, los cuales son heterótrofos (no producen su propio alimento por lo que se nutren de otras fuentes de carbono orgánico de la materia vegetal o animal como fuente energética) en los dos primeros (Aminación y Amonificación) y autótrofos (producen compuestos orgánicos complejos usando carbono de sustancias simples como el CO<sub>2</sub>, usando energía de la luz o reacciones químicas inorgánicas) en el último (nitrificación). La mineralización conlleva inicialmente a la formación de NH<sub>4</sub><sup>+</sup> el cual luego es transformado a NO<sub>3</sub><sup>-</sup> por medio de la nitrificación; siendo esas las dos formas en que las plantas pueden absorber N para su nutrición (Chaves, 1999b, 2010, 2017).

El humus es uno de los productos finales del proceso, siendo el elemento más estable de la MO y su presencia y contenido en la misma constituye un indicador de calidad. Es una sustancia coloidal compuesta por productos orgánicos de naturaleza coloidal, originados a partir de la descomposición de los restos orgánicos por organismos y microorganismos descomponedores (hongos, bacterias y actinomicetes); que se caracteriza por el color oscuro-castaño promovido por la gran cantidad de carbono que contiene.

Son varios y muy diferentes los factores y propiedades del suelo que intervienen sobre la mineralización de los materiales orgánicos, entre los cuales están: la textura principalmente en lo concerniente al contenido y tipo de arcillas presentes; capacidad de retención de humedad; densidad aparente; índice de acidez referido por su valor de pH; grado de salinidad; contenido de MO; concentración de nutrientes y actividad microbial presente en el medio. La literatura reporta que la mineralización del N orgánico

ocurre según textura del suelo en el siguiente orden: franco limoso > franco > franco arenoso. Como se infiere, la humedad y los factores que la regulan y determinan son elementos diferenciadores determinantes. Se reporta que la mineralización del N se incrementa cuando la humedad del suelo se aproxima a la Capacidad de Campo y se reduce con su disminución; por lo cual condiciones secas y de re-humedecimiento alternado, conducen a una mínima mineralización, e incluso a inmovilización del N (conversión de inorgánico en orgánico).

Como es esperable, se ha encontrado que las características y propiedades químicas del suelo desempeñan un papel determinante en el proceso de mineralización, por cuanto los microorganismos autótrofos y heterótrofos (hongos, bacterias, actinomicetes) que intervienen son sensibles a los índices de pH ácido o alcalino extremos; también al equilibrio iónico prevaeciente, al contenido de C y N presentes en el medio y adicionalmente a los procesos de oxidación e hidrólisis que ocurren en un medio heterogéneo y cambiante como es el suelo.

Complementariamente está demostrada la relevancia y papel determinante que desempeñan los organismos del suelo, como responsables directos de la transformación del N presente en el medio en formas disponibles y accesibles para las plantas, activando y controlando el proceso de mineralización en el sustrato. Las bacterias del suelo son responsables de la inmovilización y mineralización de N y de los procesos que intervienen el suministro de Amonio (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) y Nitrato (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) a las plantas. Como se anotó anteriormente, la mineralización ocurre en dos etapas sucesivas: a) los microorganismos transforman el N orgánico en NH<sub>4</sub><sup>+</sup> y b) sintetizan Nitrato (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) a partir del Amonio presente en el medio. Es así como los organismos autótrofos convierten el N orgánico en NH<sub>4</sub><sup>+</sup> por medio del proceso de la Amonificación; en tanto que los organismos heterótrofos transforman el NH<sub>4</sub><sup>+</sup> en NO<sub>3</sub><sup>-</sup> por el proceso de Nitrificación [(1) NH<sub>4</sub><sup>+</sup> + O<sub>2</sub> = NO<sub>2</sub><sup>-</sup> + 4H<sup>+</sup>; (2) NO<sub>2</sub><sup>-</sup> + H<sub>2</sub>O = NO<sub>3</sub><sup>-</sup> + 2H<sup>+</sup>]. La biomasa microbiana no solo es utilizada como un indicador de calidad del suelo, sino que opera también como almacenamiento (inmovilización) y fuente (mineralización) de nutrientes disponibles y accesibles para los cultivos a través de los procesos de inmovilización y mineralización.

El manejo de los suelos y las plantaciones tienen también un efecto importante, encontrándose que hay mayor grado de mineralización neta de N en suelos que han sido disturbados en relación con los no disturbados. Por esta razón, los suelos con

manejo y uso agrícola poseen más mineralización y con ello pérdida neta de MO, carbono orgánico, N y fertilidad natural, lo que obliga al uso suplementario de fertilizantes químicos y abonos orgánicos para equilibrar la condición. La investigación ha permitido concluir que la actividad enzimática, la actividad microbiana y el grado de mineralización de la MO es más influenciada por factores vinculados al suelo y al ambiente, que las atribuidas a las prácticas de manejo agrícola implicadas y ejecutadas.

### Constitución y aporte orgánico e inorgánico de la caña

La caña de azúcar es una planta con muchas particularidades distintivas que la tipifican como excepcional virtud del amplio y diverso potencial de uso agrícola, industrial y energético que posee, al generar: residuos biomásicos producto de la cosecha, residuos vegetales separados y remanentes en los puntos de recibo, acopio y limpieza de la materia prima destinada a la fábrica de azúcar, bagazo, cachaza o torta residual, cenizas producto de la incineración del bagazo, azúcar, miel final o melaza y agua vegetal remanente del procesamiento fabril (Aguilar y Chaves, 2009; Angulo y Chaves, 1999ab; Rivera y Chaves, 2003).

Noa et al. (1986) señalan, que “Los subproductos de la industria azucarera se pueden agrupar según la forma en que se obtienen en: los que se originan durante la cosecha de la caña, cogollo, hojas, paja; y los que resultan del proceso industrial, el bagazo, las mieles finales y la cachaza.

Durante la cosecha y el proceso tecnológico de producción de azúcar es posible obtener por cada 100 t de caña lo que se muestra en el cuadro 1.

**Cuadro 1.** Toneladas de diferentes productos por cada 100 t de caña.

#### Por cada 100 t de caña

	t
<b>Azúcar</b>	<b>12,5</b>
<b>Cogollo</b>	<b>18,4</b>
<b>Hojas y paja</b>	<b>42,9</b>
<b>Miel final 88° Bx</b>	<b>3,6</b>
<b>Cachaza 77% humedad</b>	<b>3,4</b>
<b>Bagazo 50% humedad</b>	<b>27,5</b>

Fuente: Ministerio de la Industria Azucarera (Cuba)

Complementa el ICIDCA (1990) de Cuba las relaciones cuantitativas generadas, indicando que “Si se toman como

referencia 1.000 kg de caña en el cañaveral, 94 kg se quedan en el campo, en condiciones de cosecha mecanizada y procesamiento posterior en instalaciones de limpieza diseñadas para ese fin.

La caña cosechada es llevada a los centros de acopio y de limpieza, donde se le separan 82 kg de residuos compuestos por hojas, cogollo y caña; se envían a la fábrica de azúcar para su procesamiento 824 kg de caña, que a la vez lleva 56 kg de materias extrañas y restos de los residuos de la cosecha.

En la industria al procesarse estos 824 kg, se obtienen 104 kg de azúcar, 26 de mieles finales, 33 de cachaza, 221 de bagazo, 430 kg del componente más abundante que es el agua y 10 kg de cenizas, que pueden variar de acuerdo con las características del bagazo, las sustancias inorgánicas que arrastra y las características de la caldera de vapor que se utiliza.

El azúcar representa alrededor del 10% de la caña, mientras que el resto, o sea, los subproductos de la cosecha y de la industria, constituyen las cantidades de mayor magnitud, todas ellas con posibilidades de convertirse en más de 50 derivados de primera generación en explotación comercial en todo el mundo...”

En Costa Rica se han realizado numerosas valoraciones de contenidos e impacto de los residuos vegetales nombrados y reconocidos como basura o trash acarreados en las entregas de caña al ingenio, en los cuales se cuantificó la calidad y naturaleza de estos, con lo cual se demuestra el potencial de material orgánico contenido. Angulo y Chaves (1999a) en Cañas, Guanacaste, estudiaron la procedencia de las entregas y encontraron resumidamente lo que porcentualmente indica el cuadro 2, donde se revela la presencia de componentes orgánicos e inorgánicos.

**Cuadro 2.** Composición fraccional de una entrega comercial de caña en Guanacaste.

Origen *	Componentes de la Materia Extraña (%)					Total Basura
	Caña Limpia	Hoja + Cogollo	Caña Seca	Raíces + Cepa	Tierra	
Ingenio	91,38	6,55	1,44	0,11	0,41	8,50
Particular	87,84	9,36	2,08	0,15	0,51	12,09
Promedio General	89,61	7,95	1,76	0,13	0,46	10,30

\* Cada valor es el promedio de 6 repeticiones.

Fuente: Angulo y Chaves (1999a).

En otro estudio similar se comparó en la Zona cañera de Puntarenas los contenidos de materia extraña en sistemas de cosecha manual y mecánica, encontrando diferencias importantes, como lo muestra el cuadro 3 (Angulo y Chaves, 1999b).

**Cuadro 3.** Comparativo fraccional de Materia Extraña (%) según Sistema de Cosecha en Puntarenas.

Sistema Cosecha *	Componentes de la Materia Extraña (%)						Total Basura
	Caña Limpia	Hojas	Cogollo	Caña Seca	Raíces + Cepa	Tierra	
Manual	91,66	2,14	1,91	0,7	0,49	3,07	8,31
CV (%)	4,77	47,30	40,15	148,51	83,37	104,64	52,73
Mecanizada	94,89	2,40	1,66	0,26	0,49	0,21	5,09
CV (%)	94,90	36,64	51,81	132,46	81,73	181,02	31,45
Promedio General	93,28	2,27	1,78	0,48	0,49	1,64	6,70
CV (%)	3,88	41,27	45,23	165,17	80,74	163,13	54,08

\* Cada valor es el promedio de 12 repeticiones.  
Fuente: Angulo y Chaves (1999b).

Se infiere a partir de lo anterior que: 1) la variedad y complejidad de materiales orgánicos que genera el sector azucarero en su gestión agroindustrial es muy diversa en su naturaleza y calidad, 2) la cantidad de materiales biomásicos orgánicos que produce la caña de azúcar es muy alta, pues la misma se genera en forma permanente durante todo su ciclo vegetativo (12-24 meses) y no solo durante su cosecha y proceso fabril, 3) las localidades de cultivo, los sistemas de manejo y de cosecha (manual, mecanizado, verde, quemada) de plantaciones determinan la calidad, cantidad y contenido de las fracciones presentes y dominantes, 4) la naturaleza de las variedades (porte, biomasa, grado de despaje, productividad) induce variaciones de fondo en el aporte de materiales orgánicos al suelo y 5) las condiciones imperantes en el entorno agro productivo son determinantes, en especial las de naturaleza edafoclimática.

### Relación Carbono/Nitrógeno (C/N)

En la complejidad y multi variedad de procesos activos que ocurren en el suelo, pueden darse también procesos contrarios a la mineralización, como acontece con la inmovilización del N, donde los compuestos inorgánicos ( $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NH}_3$  y  $\text{NO}_3^-$ ) son tomados por los organismos del suelo para promover la descomposición y los transforman en N-orgánico para incorporarlos en sus células y tejidos. La calidad de los residuos orgánicos presentes en el suelo condiciona en alto grado la predominancia de la mineralización o la inmovilización del N, lo cual se mide por medio de la Relación C/N. Acontece que si la cantidad de N presente en los residuos orgánicos descompuestos es mayor que la requerida por los microorganismos presentes, habrá mineralización neta con liberación de N-inorgánico. Si la cantidad de N en los residuos es igual a la cantidad requerida, no habrá mineralización neta. Caso la cantidad de N presente en los residuos sea menor que la requerida por los microorganismos, ocurrirá inmovilización de N inorgánico adicional, proveniente del suelo. Esto sugiere que la cantidad de N y C contenida en la MO constituye un factor que controla y determina la ocurrencia

de la mineralización o la inmovilización neta de N (Chaves, 1999b, 2010; Fassbender, 1982).

El origen, naturaleza y composición de los materiales orgánicos muestran tasas variables de mineralización de N, dependiendo básicamente de su concentración de celulosa, hemicelulosa, lignina y consecuentemente de su Relación C/N, presentando una correlación negativa entre esos compuestos y la concentración de N; la cual se torna positiva para la mineralización cuando la concentración de N respecto al C es alta, lo que denota una relación baja, lo cual dinamiza la descomposición del material tornándola rápida y equivalente al N presente, liberando y poniendo disponible una buena cantidad de ese N. Se habla inclusive de la Relación lignina/N. El tamaño de partícula de las fracciones de los agregados influye también sobre el proceso de mineralización del N.

En términos relativos se tiene que a menor Relación C/N, mayor aporte nitrogenado se tendrá. Se considera genéricamente que Relaciones C/N en torno a 8-10 son idóneas para una rápida mineralización. Asimismo, algunos estudios demuestran que la Relación C/N que genera un punto de equilibrio entre mineralización e inmovilización neta de N puede estar entre 20 y 40. No obstante, ese punto de equilibrio algunos lo ubican alrededor de 15. Informa Chaves (2010) que en Relaciones C/N mayores a 30 hay inmovilización y menores a 20 ocurre liberación de N al medio.

**Cuadro 4.** Residuos sólidos agro azucareros con potencial para compostaje.

Residuo	C/N	MO		Nutrientes			Masa húmeda por cada 1.000 t de caña molida (t)
		Humedad	---Porcentaje---	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	
Cachaza	29	80	75	1,60	1,20	0,40	37,0
RAC Acopio	129	94	40	0,35	0,21	1,25	60,0
Bagazo	111	90	50	0,39	0,90	0,70	4,8 *
Ceniza	-	trazas	10	0,00	0,85	1,00	5,0
Total							106,8

Fuente: Velarde *et al* (2004).

\* La masa húmeda de bagazo se estimó a partir de una participación del 10% en la mezcla de residuos.

En el caso particular de la caña de azúcar, se tiene que sus residuos y derivados poseen Relaciones C/N diferentes como resultado de las profundas variaciones que hay en su composición. Marriell *et al.* (1987) citados por Chaves (2010) mencionan, que los contenidos de MO del bagazo y el bagacillo varían entre 71,4 y 89,9%, los de N entre 1,07 y 3,02% y la Relación C/N entre 22 y 150. Los valores para las mismas variables en el caso de las Vinazas residuales del etanol son de 14,6-48,6%, 0,0023-0,074% y 14 a 40, respectivamente. En el cuadro 4 se presenta la composición de nutrientes, el contenido

de MO, humedad y masa disponible si se muelen 1.000 toneladas de caña indicado por Velarde *et al* (2004).

Confirmando valores de composición de algunos residuos de la agroindustria azucarera, Kiehl (1985) aporta los valores que se anotan en el cuadro 5. Como se concluye de esa información, las Relaciones C/N para el bagazo y las Vinazas son altas, lo que sugiere baja liberación y poca disponibilidad de N por inmovilización; en tanto que la de la cachaza puede calificarse como baja y por tanto de buen potencial para ser empleada como abono al suelo, pues la liberación de N al medio se presume elevada.

**Cuadro 5.** Composición % de residuos de la agroindustria azucarera.

Residuo	MO	N	C/N	P2O5	K2O
	---- Porcentaje ----				
Bagazo	71,44	1,0 7	37	0,25	0,94
Bagacillo	87,19	1,0 9	44	0,08	0,10
Bagacillo Imbibido	89,92	1,7 4	29	0,32	1,79
Vinaza	78,82	3,0 2	14	0,53	1,09

Fuente: Kiehl (1985).

### Contenidos de materia orgánica en suelos cañeros de Costa Rica

Se demostró que la caña de azúcar constituye uno de los cultivos importantes en producir biomasa y con ello suministro de MO al suelo, por lo que el aporte al sistema es alto. Como se indicó, ese aporte se incrementa y maximiza durante la cosecha, aunque la producción y deposición de materia verde en el suelo es permanente durante todo el ciclo vegetativo del cultivo, que va desde los 12 hasta 24 meses de edad a cosecha (Chaves, 2019a). Es así como la capacidad y disponibilidad de nutrientes para la planta depende y está determinada en alto grado por la composición del sistema biótico del suelo y para ello, el proceso de descomposición y mineralización de la MO sembrada es determinante, como se ha venido recurrentemente mencionando.

Los diagnósticos sobre contenidos de MO y carbono orgánico son limitados y muy escasos en el país, lo que impide poder tener criterio certero y buen fundamentado que tipifiquen la condición y estado real actual de los suelos sembrados con caña de azúcar en torno a ese indicador en particular. La información sobre MO es limitada debido a: a) los análisis químicos de rutina comprenden todas las formas orgánicas presentes (restos vegetales, animales, humus, organomineral, etc.) por lo que sus

valores son integrales, impidiendo la interpretación fraccional y su actividad particular; b) la velocidad de los mecanismos descomponedores son muy variables y dinámicos; c) la permanencia del N en el suelo es muy efímera lo que induce variaciones importantes en su contenido, motivo por el cual su diagnóstico acarrea sesgos significativos, motivo por el cual se practica con restricciones y d) el grado de fragmentación y sucuencia de los materiales vegetales es muy variable.

Se asocia y asegura que un suelo fértil tiene que poseer necesariamente un adecuado contenido de MO, preferiblemente alto, que fluctúe entre un 2% para suelos arenosos y hasta un 6% para suelos húmicos (FAO, 2017). El tipo de suelo juega un papel determinante en esta interpretación basado en sus características tipificantes, por lo cual puede considerarse que un contenido de 5% de MO es alto en un suelo meteorizado y viejo del orden taxonómico Ultisol, pero será bajo en un Andisol de origen volcánico y más aún en un Mollisol o Histosol. En otro orden de suelo ese 5% se califica como de nivel medio. En los suelos volcánicos la MO se acompleja con la alofana elevando los valores hasta 10 y 20% o más. La interpretación de contenidos debe ser integral y no capciosa o superficial. Otras propuestas califican como bajo un contenido inferior a 1,7% de MO y 1,0% de carbono orgánico; medio entre 1,7-4,25% y 1,0-2,5% y alto cuando los valores son superiores a 4,45% y 2,5%, respectivamente.

Los suelos sembrados con caña de azúcar en Costa Rica presentan contenidos de MO muy variables, lo cual viene influenciado por la altitud (m.s.n.m), pues entre más alto mayores son los contenidos y viceversa, lo cual es determinado por el clima. Es así como en la Zona Baja (<400 m.s.n.m) los valores de MO difícilmente superan el 6%; índice que se incrementa con la altitud y llega a sus valores máximos (>10%) en localidades superiores a los 1.000 m.s.n.m. Los contenidos de MO disminuyen con la profundidad del perfil del suelo, lo que debe considerarse en su correcta interpretación. Sin embargo, variables como tipo de suelo (textura, densidad aparente, etc.), manejo de la fertilidad, uso de correctivos de acidez, siembra de variedades biomásicas de buen despaje, uso de riego, buen drenaje, no quema ni requema de residuos durante la cosecha, bajo disturbamiento (laboreo) del suelo, uso de abonos orgánicos, coadyuvan a mantener altos contenidos de MO con grados apreciables de mineralización y suministro de nutrientes absorbibles al medio.

Henriquez y Cabalceta (1999) proponen un criterio de interpretación de contenidos de MO ajustados al orden taxonómico del suelo, basados en lo reportado por Cabalceta y Mata (1999), como se anota en el cuadro 6.

**Cuadro 6.** Propuesta de contenidos (%) de materia orgánica en diferentes suelos de Costa Rica.

Orden de Suelo	Contenido (%)		
	Bajo	Ámbito Normal	Alto
Inceptisol			
Bien drenados	<5	6 - 8	>10
Mal drenados	<8	10 - 12	> 14
Entisoles	<5	7 - 9	>10
Alfisolos- Ultisoles	<2	3 - 5	>8
Andisoles	<9	14 - 16	>20
Vertisoles	<1	2 - 3	>6
Mollisoles	<3	5 - 6	>10

Fuente: Cabalceta y Mata (1999).

Basados en la experiencia técnica y agro productiva y la información sectorial disponible, puede asegurarse con buena aproximación, que una mayoría de los suelos costarricenses sembrados con caña de azúcar se encuentran en una condición muy limitada e inconveniente de fertilidad natural, lo cual se traduce en bajos contenidos de MO y consecuentemente en un alto grado de insuficiencia en el suministro nutricional, lo cual impacta y reduce sistemáticamente la productividad agroindustrial, incrementa los costos asociados, limita la rentabilidad y la competitividad de la empresa cañera. Es necesario por ello, atender y resolver con carácter prioritario y emergente la situación.

#### Participación e incidencia del clima

La humedad, la temperatura y el oxígeno disponible en el medio influyen sustantivamente sobre los procesos de mineralización y descomposición de las materias orgánicas contenidas en el suelo, con lo cual determinan la velocidad y los contenidos de N que serán liberados al medio y dispuestos a las plantas para su absorción.

Asegura Arguello (1991) al respecto, que *“La temperatura y la humedad son los dos factores más importantes (abióticos) que controlan la tasa de descomposición bajo condiciones naturales. También la aireación y la estructura del suelo juegan un importante papel indirectamente.”* Agrega y amplía el mismo autor mencionando a Fassbender (1982) y a Stevenson que *“...la mineralización, de la materia orgánica, se inicia a 10°C., y*

*umenta hasta alcanzar su máximo entre 30 y 40°C. De esto resulta que a temperaturas relativamente bajas se producen más residuos de los que se mineralizan y a temperaturas mayores de 25-28°C, la materia orgánica disminuye, lo que implica que la temperatura crítica de aproximadamente 25°C es decisiva en la producción y degradación de los restos vegetales. Temperaturas bajo el nivel crítico permiten una acumulación de materia orgánica con la mejora de una serie de propiedades de los suelos. Cuando las temperaturas son excesivamente altas como ocurre en muchas zonas tropicales, se presenta una aceleración de la degradación de los restos vegetales en el suelo que causa graves problemas en su fertilidad.”*

Está demostrado que la temperatura desempeña un rol importante y determinante en la mineralización de la MO. Estudios en los cuales se han incubado muestras de suelo y han sido sometidas a diferentes temperaturas, se comprobó que hubo diferencias significativas en las tasas de mineralización de N. Se encontró que a 25°C la tasa de mineralización de la MO es más veloz durante los primeros días, alcanzando su máximo a los 3 días de incubación, mientras que a 15°C la cima se alcanza a los 15 días de incubación. Otros resultados experimentales reportan que la mineralización fue 3,7 veces más rápida a 25°C que a 15°C; y 13 veces mayor a 15°C que a 5°C. La temperatura influye notablemente la masa microbiana, pues a temperaturas mayores la proliferación y actividad de los microorganismos aumenta y en bajos grados térmicos por el contrario disminuye. La literatura señala que la temperatura óptima para el desarrollo de organismos descomponedores se halla entre 30 y 40°C. Con base en lo anterior, la presencia de entornos muy disímiles y heterogéneos que condicionan las temperaturas nacionales (Chaves, 2019b, 2020ab), puede inferirse y explicarse la razón de los bajos contenidos de MO en zonas cañeras bajas como el Pacífico Seco y, mayor en las más altas, como acontece en la región de Juan Viñas, Cervantes, Grecia y San Ramón. Es claro que la mineralización de la MO disminuye y la humificación aumenta con el descenso de la temperatura, verificando un incremento en el contenido de humus en el suelo conforme aumenta la altura. Hay una relación inversa entre la MO, el N y la temperatura, es decir, al aumentar la temperatura decrece el contenido orgánico y el N de los suelos. Pese a lo anterior, es necesario tener presente que un incremento de la temperatura no resulta ni se traduce siempre en una velocidad mayor de descomposición, probablemente debido a la interacción e influencia de otros factores ambientales, entre ellos la humedad.

La humedad por su parte es considerada por algunos investigadores como más importante y determinante que la temperatura, pues regula la actividad microbiana del suelo de diferentes formas: a) como componente del protoplasma celular, b) modificando las tasas de intercambio gaseoso y c) disolviendo y transportando diferentes nutrientes esenciales. En condiciones de humedad tropical, estos procesos se realizan con mayor rapidez a lo largo de todo el año; mientras que en condiciones templadas son más lentos y se detienen durante los meses fríos. El tipo de suelo como se indicó anteriormente también desempeña una función determinante. Los suelos arenosos se secan con mayor rapidez provocando que el proceso de descomposición sea más lento; por el contrario, los suelos ricos en óxidos e hidróxidos de hierro como los Ultisoles, son por lo general poco fértiles, pero tienen la propiedad de favorecer la rápida descomposición y formación de MO estable. Lo anterior conduce con argumento sólido a establecer una asociación válida entre las condiciones de pluviosidad y el contenido de N presente en el suelo; por lo cual, al intensificarse las lluvias se genera una vegetación más exuberante, incrementando la deposición de restos orgánicos elevando así el contenido de N; lo cual favorece las condiciones para activar la fijación biológica de N. Algunos investigadores señalan que el nivel óptimo de humedad para promover la actividad de los organismos descomponedores del suelo, es de 60-70%.

No hay duda de que los efectos combinados entre la temperatura y la humedad del suelo son más determinantes que los efectos que individualmente esas variables puedan ejercer sobre el sistema.

### Conclusión

La realidad comercial de la agricultura actual y la circunstancia y necesidad particular que mantiene la agroindustria cañera costarricense de rectificar, acondicionar y mejorar la condición de fertilidad natural de sus suelos, representa un imperativo prioritario por atender para poder situar al sector en una posición competitiva en el ámbito de una producción agroindustrial sostenible y ecoeficiente (Chaves, 1999a). El uso comercial continuo de los suelos ha inducido y provocado con el paso de los años un alto grado de desgaste, deterioro y degradación de su condición nutricional, contribuyendo con la pérdida sistemática y acentuada de su capacidad agro-productiva, el incremento de los costos relacionados por uso obligado de insumos químicos y la pérdida de competitividad empresarial.

La agroindustria azucarera costarricense debe enfocar y concentrar con carácter prioritario e imperativo, todos sus recursos y esfuerzos técnicos e institucionales para procurar restituir e incrementar la actividad biológica, la fertilidad natural y la condición agro-productiva de los suelos cultivados con caña de azúcar. Está comprobado que el uso comercial continuo e intensivo, la sobreexplotación, el uso de prácticas de manejo inconvenientes, el desbalance y desequilibrio entre lo que sale y retorna al sistema suelo-planta, han conducido a generar y establecer un estado preocupante e inconveniente de infertilidad, que obliga a utilizar medios e insumos complementarios y suplementarios para procurar su acondicionamiento, los cuales además de incrementar significativamente los costos implicados, no logran mantener niveles de productividad satisfactorios y sostenibles. Caso no se atiende y supere esta limitante, muy difícil resultara pretender incrementar y sostener los índices de rendimiento y productividad agroindustrial en niveles competitivos, esa es la realidad.

La producción sin residuos constituye el paradigma actual y futuro de la sostenibilidad, y la caña de azúcar es una planta que goza del privilegio de generar una gran cantidad y variedad de residuos biomásicos y agroindustriales con gran potencial de uso, por poseer un muy alto potencial de compostaje y utilización como abono y otros productos generadores de valor agregado. Sin embargo, ese potencial puede convertirse caso no se utilice y optimice, en un serio problema y limitante sectorial, si la visión equivocada y su destino es la de conceptualizarlos y emplearlos como simples desechos.

No hay duda de que el impacto que tiene la agricultura con la incorporación, reciclaje y uso de componentes orgánicos residuales propios e inherentes al sistema productivo, sobre las propiedades del suelo y la productividad agroindustrial, es extremadamente positivo y muy rentable, considerando y tomando en cuenta especialmente los procesos y mecanismos que se relacionan con el contenido de MO, la actividad biológica y la erosión. La mineralización neta de MO y conversión en N, dependen, tanto de las propiedades físicas, químicas y microbiológicas del suelo, como también de la composición y origen de la biomasa orgánica y las condiciones ambientales donde se desarrolla el proceso. Resulta por todo esto imperativo y obligado devolverle y restituirle vida al suelo.

## Literatura citada

Aguilar Segura, J.C.; Chaves Solera, M. 2009. *Determinación de los efectos e nueve tipos y cinco porcentajes de materia extraña (basura), sobre las variables de la calidad industrial de la caña de azúcar, en Azucarera El Viejo, Costa Rica*. En: Congreso Azucarero ATACORI "Cooperativa Agrícola Industrial El General R.L.", 17, Colegio de Ingenieros Agrónomos, San José, Costa Rica, 2009. Memoria. San José, Asociación de Técnicos Azucareros de Costa Rica (ATACORI), 2 y 3 de setiembre del 2009.

Angulo, A.; Chaves, M. 1999a. *Evaluación del contenido de materia extraña en caña de azúcar. Ingenio Taboga, Cañas, Guanacaste*. En: Congreso Nacional Agronómico y de Recursos Naturales, 11, Congreso Nacional de Entomología, 5, Congreso Nacional de Fitopatología, 4, Congreso Nacional de Suelos, 3, Congreso Nacional de Extensión Agrícola y Forestal, 1, San José, Costa Rica, 1999. Memoria: *Manejo de Cultivos*. San José, Colegio de Ingenieros Agrónomos: EUNED, julio. Volumen II. p: 347. También en: Participación de DIECA en el XI Congreso Nacional Agronómico y de Recursos Naturales. San José, Costa Rica. LAICA-DIECA, julio 1999. p: 203.

Angulo, A.; Chaves, M. 1999b. *Contenido de materia extraña en la caña de azúcar cosechada bajo la modalidad de corta manual y mecánica, en el Ingenio Palmar en Miramar de Puntarenas*. En: Congreso Nacional Agronómico y de Recursos Naturales, 11, Congreso Nacional de Entomología, 5, Congreso Nacional de Fitopatología, 4, Congreso Nacional de Suelos, 3, Congreso Nacional de Extensión Agrícola y Forestal, 1, San José, Costa Rica, 1999. Memoria: *Manejo de Cultivos*. San José, Colegio de Ingenieros Agrónomos: EUNED, julio. Volumen II. p: 346. También en: Participación de DIECA en el XI Congreso Nacional Agronómico y de Recursos Naturales. San José, Costa Rica. LAICA-DIECA, julio 1999. p: 204.

Arguello Arias, H. 1991. *La descomposición de la Materia Orgánica y su relación con algunos factores climáticos y microclimáticos*. *Agronomía Colombiana*. 8 (2): 384 – 388.

Chaves Solera, M.A. 1985a. *Algunas nociones sobre la producción de residuos agroindustriales y la legislación vigente en Costa Rica para regular sus efectos contaminantes*. En: Taller Regional Sobre Residuos Agrícolas y Agroindustriales en

América Latina y El Caribe. Santiago, Chile, 1984. Memorias. Santiago de Chile, PNUMA/CEPAL/GEPLACEA, julio. 25 p.

Chaves Solera, M.A. 1985b. *Diagnóstico sobre la producción y utilización de los residuos agrícolas y agroindustriales en Costa Rica*. En: Taller Regional sobre Residuos Agrícolas y Agroindustriales en América Latina y el Caribe. Santiago, Chile, 1984. Memorias. Santiago de Chile, PNUMA/CEPAL/GEPLACEA, julio. p: 155-321.

Chaves, M.; Bermúdez, A. 1999a. *Por una mayor conciencia ambiental en el sector azucarero*. En: Congreso de ATACORI "Randall E. Mora A.", 13, Carrillo, Guanacaste, Costa Rica, 1999. Memoria. San José, Asociación de Técnicos Azucareros de Costa Rica (ATACORI), setiembre. p: 274-278.

Chaves Solera, M. 1999b. *El Nitrógeno, Fósforo y Potasio en la caña de azúcar*. San José, Costa Rica. LAICA-DIECA, setiembre. 130 p.

Chaves Solera, M. 2001a. *Fertilización de la caña de azúcar en Costa Rica: experiencias de los Últimos 20 Años (Periodo 1980-2000)*. En: Congreso Latinoamericano, 15 y Congreso Cubano, 5, de la Ciencia del Suelo, Varadero, Cuba, 2001. Programas y Resúmenes. Varadero, Sociedad Cubana de la Ciencia del Suelo. 2001. Nov. 11-16. Boletín Nº 4. p: 114. También en: En: Congreso de ATACORI "Ing. Agr. José Luis Corrales Rodríguez", 15, Carrillo, Guanacaste, Costa Rica, 2003. Memoria. San José, Asociación de Técnicos Azucareros de Costa Rica (ATACORI), setiembre. p: 49-54.

Chaves Solera, M. 2001b. *Estimación de la cantidad de residuos y derivados producidos por la agroindustria azucarera costarricense*. En: Seminar on Development of Environmentally Compatible Polymers from Biowaste. San José, Costa Rica, 2001. Proceedings. San José, UNA/POLIUNA/NIMC/Fukui University of Technology. February - March. p: 92-110.

Chaves Solera, M. 2005. *La fertilización en la producción de caña de azúcar orgánica. San Ramón, Alajuela, Costa Rica*. LAICA-DIECA, setiembre. Presentación Electrónica en Power Point. 61 Láminas.

Chaves Solera, M. 2007. *Producción potencial de residuos agroindustriales por el sector azucarero costarricense*. En: Encuentro Nacional Sobre Uso de Derivados

- Agroindustriales de la Caña de Azúcar, 1, Liberia, Guanacaste, 2007. Memoria. San José, Dirección de Investigación de la Caña de Azúcar; Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo (CYTED) y Escuela Agrícola de la Región Tropical Húmeda (EARTH)/ La Flor, Centro Daniel Oduber, 26-28 de junio. También en: Presentación Electrónica en Power Point. 72 Láminas.
- Chaves Solera, M. 2010. *Dinámica del Nitrógeno en el suelo y la planta de caña de azúcar*. San José, Costa Rica. LAICA-DIECA, noviembre. Presentación Electrónica en Power Point. 57 Láminas.
- Chaves Solera, M.A. 2016a. *Resultados de investigación con el uso del Nitrógeno en la caña de azúcar en Costa Rica*. En: Congreso de la Asociación de Técnicos Azucareros de Latinoamérica y El Caribe (ATALAC), 10, y Congreso de la Asociación de Técnicos Azucareros de México (ATAM), 38. Memoria Digital y Resúmenes. Setiembre 2016, Veracruz, México. 26 p.
- Chaves Solera, M.A. 2016b. *El Nitrógeno como factor de productividad agroindustrial de la caña de azúcar en Costa Rica*. En: Congreso Nacional Agropecuario, Forestal y Ambiental, 14, Centro de Conferencias del Hotel Wyndham Herradura, Heredia, Costa Rica, 2016. Memoria Digital. San José, Costa Rica, Colegio de Ingenieros Agrónomos de Costa Rica, octubre 27 al 29. 9 p.
- Chaves Solera, M.A. 2017. *Suelos, nutrición y fertilización de la caña de azúcar en Costa Rica*. En: Seminario Internacional Producción y Optimización de la Sacarosa en el Proceso Agroindustrial, 1, Puntarenas, Costa Rica, 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 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. *Estrés por calor en la caña de azúcar en Costa Rica*. Boletín Agroclimático (Costa Rica) 2(5): 5-12, marzo.
- Chaves Solera, M.A. 2020b. *Estrés por frío en la caña de azúcar en Costa Rica*. Boletín Agroclimático (Costa Rica) 2(7): 6-16, marzo-abril.
- Chaves Solera, M.A. 2020c. *Atributos anatómicos, genético y eco fisiológicos favorables de la caña de azúcar para enfrentar el cambio climático*. Boletín Agroclimático (Costa Rica) 2(11): 5-14, mayo.
- FAO. 2017a. *Carbono Orgánico del Suelo: el potencial oculto*. Roma, Italia. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. 90 p.
- FAO. 2017b. *Conservación de los recursos naturales para una Agricultura sostenible*. Materia orgánica y actividad biológica. Disponible en: [http://www.fao.org/ag/Ca/Training\\_Materials/CD27-Spanish/ba/organic\\_matter.pdf](http://www.fao.org/ag/Ca/Training_Materials/CD27-Spanish/ba/organic_matter.pdf).
- Fassbender, H.W. 1982. *Química de suelos; con énfasis en suelos de América Latina*. 1ed. 3 reimpresión. San José de Costa Rica, IICA. 422 p.
- Henriquez H., C.; Cabalceta A., G. 1999. *Guía Práctica para el Estudio Introductorio de los Suelos con un Enfoque Agrícola*. 1ª ed. San José, Costa Rica: Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo (ACCS). 112 p.
- Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA). 1990. *Diversificación: Azúcar y*

Recuerde que puede acceder los boletines en  
[www.imn.ac.cr/boletin-agroclima](http://www.imn.ac.cr/boletin-agroclima) y en  
[www.laica.co.cr](http://www.laica.co.cr)