

## Periodo 12 de octubre al 25 de octubre 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 28 DE SETIEMBRE AL 04 DE OCTUBRE

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 acumulada en la semana fueron Liberia, Veintisiete de Abril, Sabanilla de Alajuela, Río Nuevo de Pérez Zeledón, Sierpe y Puerto Jiménez.

A nivel nacional, los registros de lluvia de 118 estaciones meteorológicas consultadas muestran al viernes como el día más lluvioso, mientras el domingo presentó los menores acumulados, con un 25% del total que registra el día con los mayores acumulados semanales.

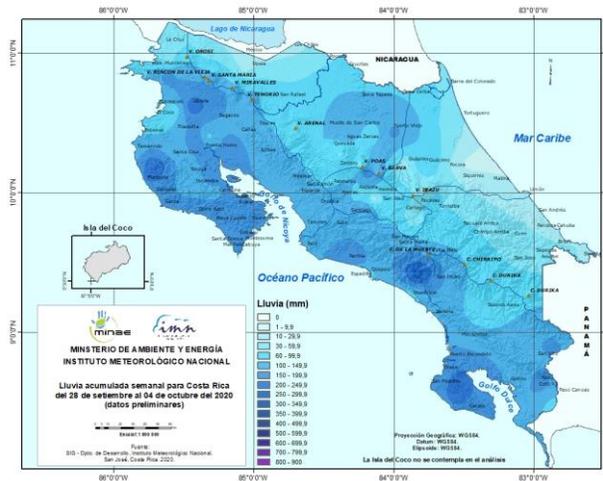


Figura 1. Valores acumulados de la precipitación (mm) durante la semana del 28 de setiembre al 04 de octubre del 2020 (datos preliminares).

## RESUMEN DE LAS CONDICIONES DE LA SEMANA DEL 05 DE OCTUBRE AL 11 DE OCTUBRE

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

Los distritos que sobrepasaron los 200 mm de lluvia acumulada en la semana fueron Veintisiete de Abril y Cuajiniquil de Santa Cruz, así como Bijagua de Upala y Palmira de Cañas.

A nivel nacional, los registros de lluvia de 126 estaciones meteorológicas consultadas muestran al jueves como el día más lluvioso, mientras el domingo presentó los menores acumulados, con un 16% del total que registra el día con los mayores acumulados semanales.

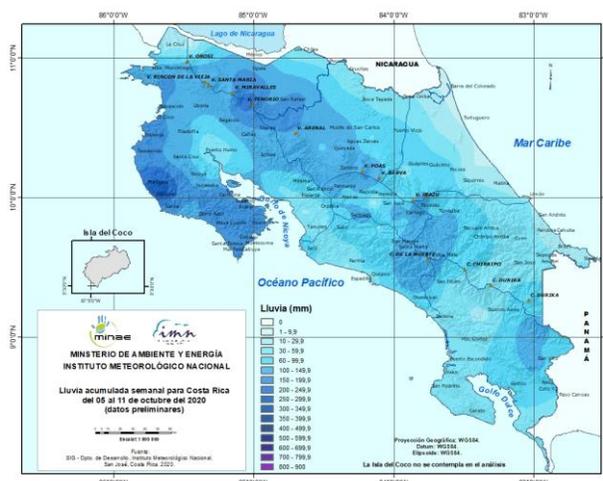


Figura 2. Valores acumulados de la precipitación (mm) durante la semana del 05 de octubre al 11 de octubre del 2020 (datos preliminares).

## PRONÓSTICO PARA LAS REGIONES CLIMÁTICAS PERIODO DEL 12 DE OCTUBRE AL 18 DE OCTUBRE DE 2020

Durante la semana se esperan condiciones sutilmente más lluviosas de lo normal en todo el país, principalmente en la vertiente Caribe, con posibles condiciones normales en el Pacífico Norte. En cuanto a la temperatura media, esta se mantendrá levemente más cálida de lo normal todo el país, especialmente en el Pacífico Central y Valle Central.

## PRONÓSTICO PARA LAS REGIONES CAÑERAS PERIODO DEL 12 DE OCTUBRE AL 18 DE OCTUBRE 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 prevé un inicio de semana con condiciones menos lluviosas, seguido de un incremento de las lluvias que se percibirá con menor medida en Valle Central Este, Valle Central Oeste, Zona Sur y Puntarenas. Las regiones cañeras mantendrán un leve incremento en la velocidad del viento durante la semana con reducción de esta a mediados de semana, a diferencia de la Zona Sur que registra una reducción paulatina del viento. Las áreas cultivadas tendrán amplitudes térmicas homogéneas, con su máximo de la temperatura media entre miércoles y/o jueves.

*“Se inicia la semana con la presencia de la onda tropical #45.”*

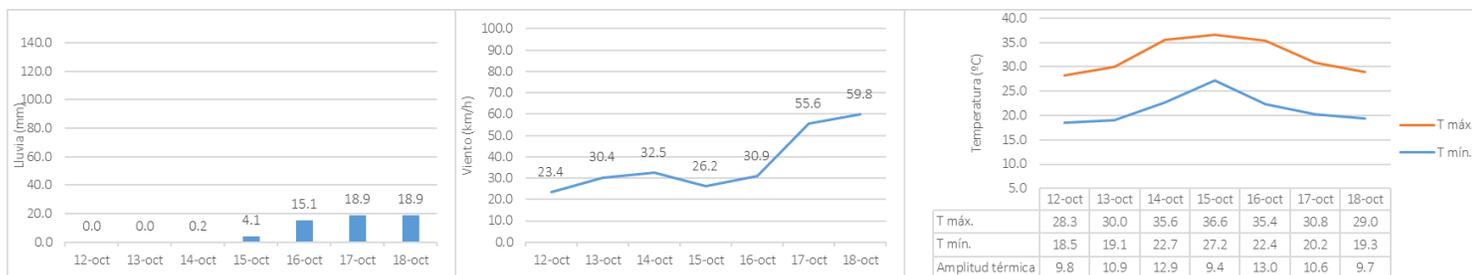


Figura 3. Pronóstico de precipitación (mm), viento (km/h) y temperatura (°C) para el periodo del 12 de octubre al 18 de octubre en la región cañera Guanacaste Este.

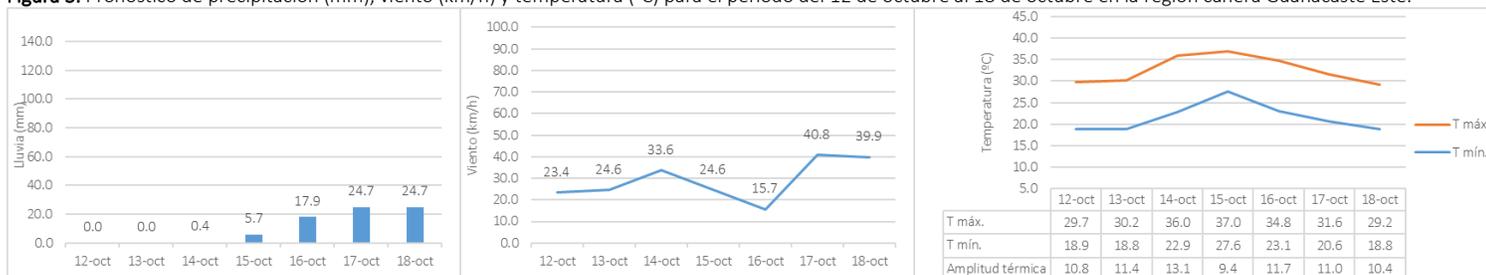


Figura 4. Pronóstico de precipitación (mm), viento (km/h) y temperatura (°C) para el periodo del 12 de octubre al 18 de octubre en la región cañera Guanacaste Oeste.

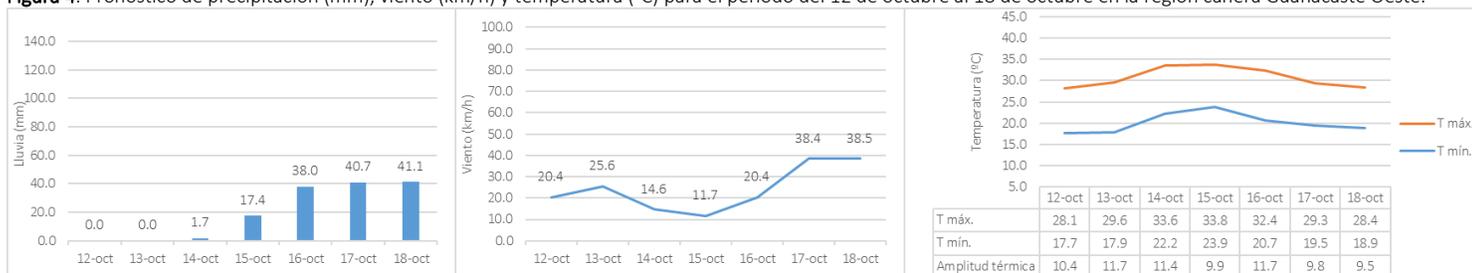


Figura 5. Pronóstico de precipitación (mm), viento (km/h) y temperatura (°C) para el periodo del 12 de octubre al 18 de octubre en la región cañera Puntarenas.

Octubre 2020 - Volumen 2 – Número 21

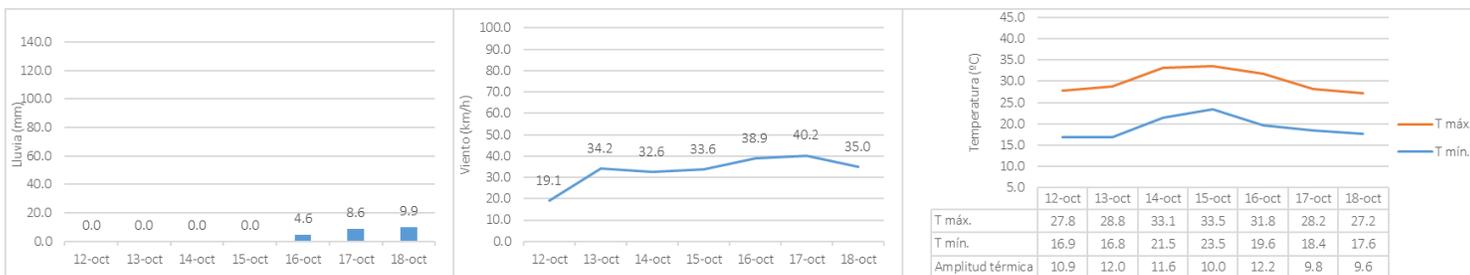


Figura 6. Pronóstico de precipitación (mm), viento (km/h) y temperatura (°C) para el periodo del 12 de octubre al 18 de octubre en la región cañera Zona Norte.

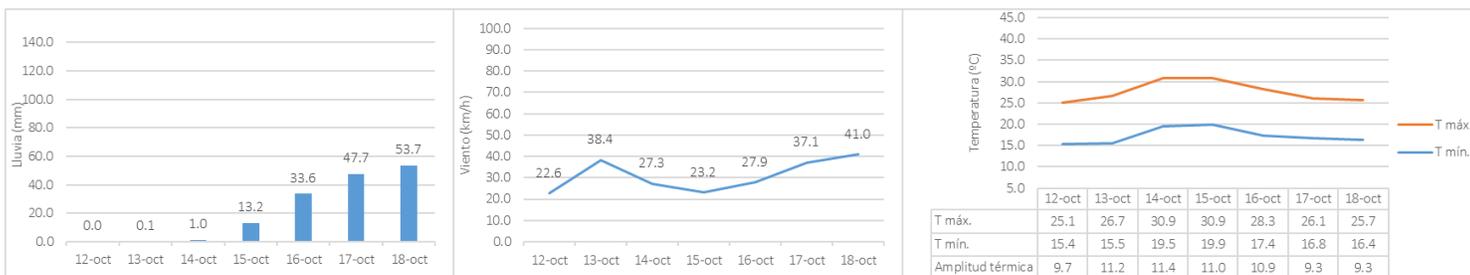


Figura 7. Pronóstico de precipitación (mm), viento (km/h) y temperatura (°C) para el periodo del 12 de octubre al 18 de octubre en la región cañera Valle Central Este.

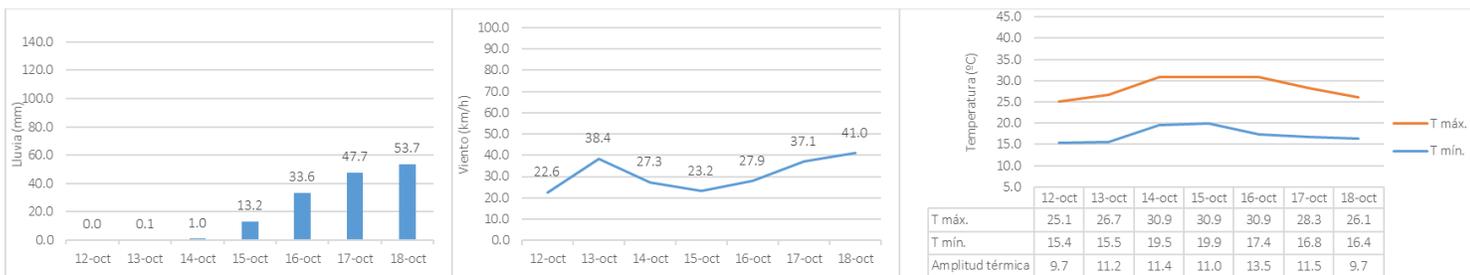


Figura 8. Pronóstico de precipitación (mm), viento (km/h) y temperatura (°C) para el periodo del 12 de octubre al 18 de octubre en la región cañera Valle Central Oeste.

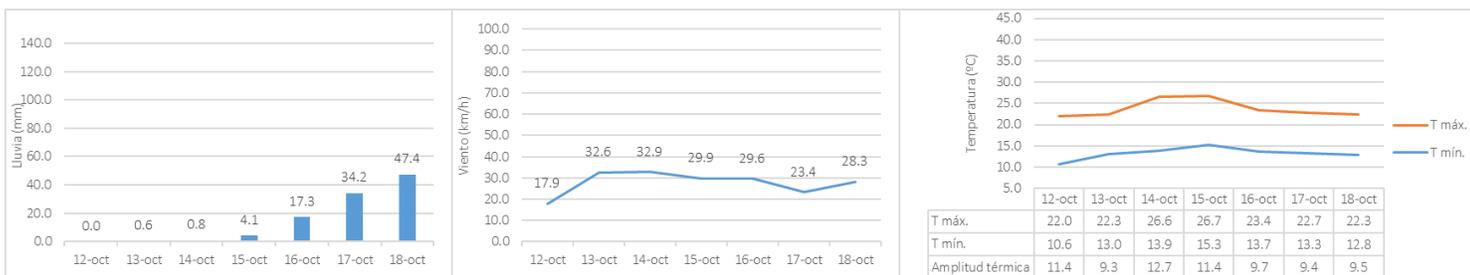


Figura 9. Pronóstico de precipitación (mm), viento (km/h) y temperatura (°C) para el periodo del 12 de octubre al 18 de octubre en la región cañera Turrialba.

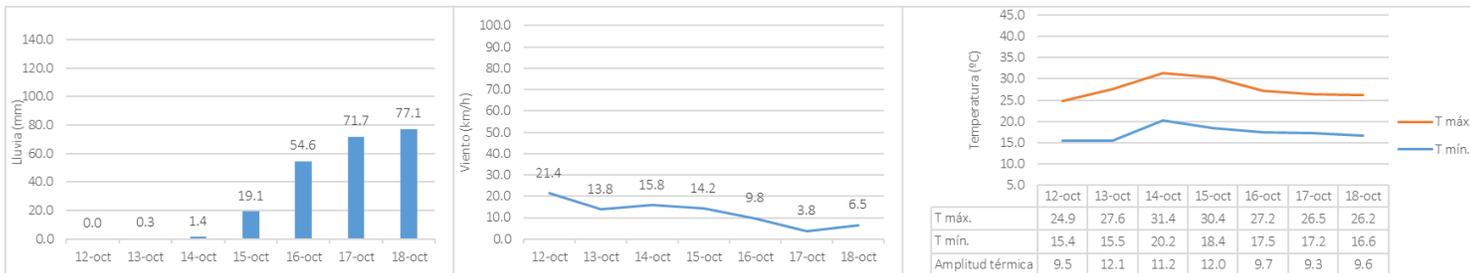


Figura 10. Pronóstico de precipitación (mm), viento (km/h) y temperatura (°C) para el periodo del 12 de octubre al 18 de octubre en la región cañera Zona Sur.

Octubre 2020 - Volumen 2 – Número 21

## TENDENCIA PARA EL PERIODO DEL 19 DE OCTUBRE AL 25 DE OCTUBRE DE 2020

Se prevé una semana con condiciones más lluviosa de lo normal en todo el territorio nacional, particularmente en el Caribe Norte.

## 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 12 de setiembre del 2020.

Las regiones de Guanacaste Oeste y Guanacaste Este presentan porcentajes que varían entre 0% y 100%. La saturación de la Región Puntarenas está entre 0% y 45%; los suelos de la Región Valle Central Oeste presentan entre 30% y 60%, mientras que los de la Región Valle Central Este tienen entre 15% y 60%.

La Región Norte está entre 0% y 100%. La humedad del suelo en la Región Turrialba Alta (> 1000 m.s.n.m.) está entre 0% y 100%, mientras que la Región Turrialba Baja (600-900 m.s.n.m.) se encuentra entre 0% y 75%. La Región Sur presenta porcentajes de saturación variables, que van desde 0% hasta 100%.

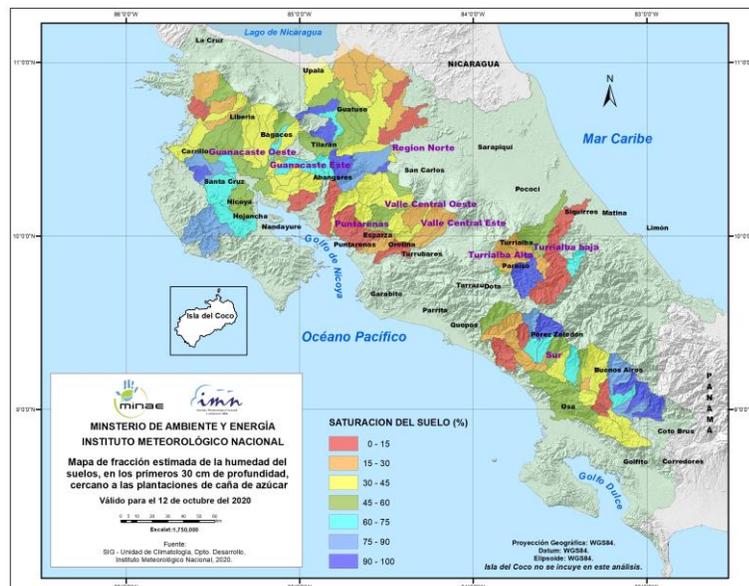


Figura 11. Mapa de fracción estimada de la humedad en porcentaje (%), a 30m de profundidad, cercana a las plantaciones de caña de azúcar, válido para el 12 de setiembre del 2020.

## DIECA E IMN LE RECOMIENDAN

Por mantenerse activa 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. Favor mantenerse al tanto de los avisos emitidos por el IMN.

## 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

Octubre 2020 - Volumen 2 – Número 21

## PERSPECTIVA CLIMÁTICA

## Trimestre de octubre a diciembre del 2020

Met. Luis Fernando Alvarado, Lic.

[luis@imn.ac.cr](mailto:luis@imn.ac.cr)

Coordinador Unidad de Climatología (IMN)

Met. Karina Hernández Espinoza, M.Sc.

[khernandez@imn.ac.cr](mailto:khernandez@imn.ac.cr)

Coordinadora del Boletín Agroclimático (IMN)

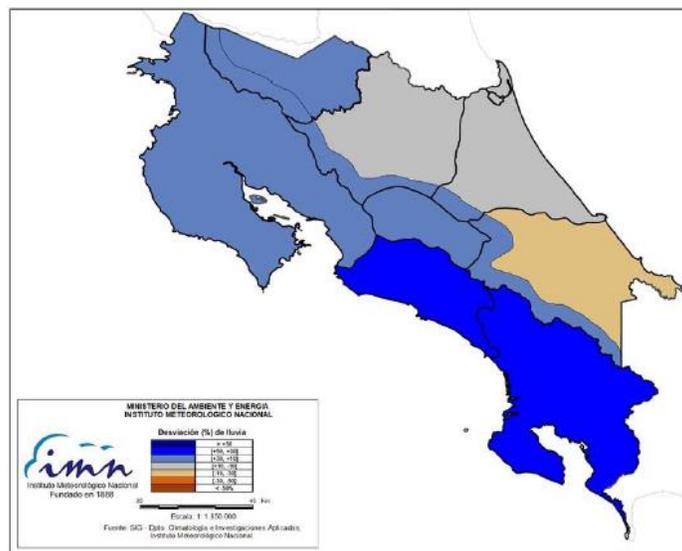
La COENOS-IMN identifica la ocurrencia del fenómeno ENOS en su fase Niña acompañada de temperaturas cálidas en el Océano Atlántico durante el trimestre de octubre a diciembre. Estos y otros análisis conllevan mantener las fechas mostradas en el cuadro 1 respecto a la finalización de la época lluviosa del año 2020, que resultan en una salida tardía respecto a lo normal. Donde se espera que sea el Pacífico Norte quien inicie la salida de la época lluviosa alrededor del 24 de noviembre, seguido de Pacífico Central y Valle del General que concluirán las lluvias cerca del 24 de diciembre; en tanto que el Valle Central tenderá a finalizar la época lluviosa el 29 de noviembre; mientras el Pacífico Sur terminaría la época lluviosa próximo al 13 de enero del 2021; por su parte la Zona Norte Occidental concluiría con el periodo de lluvias rondando el 22 de febrero del 2021.

**Cuadro 1.** Finalización de la temporada de lluvias del 2020.

(Fuente: IMN)

REGION	PRONOSTICO 2020	NORMAL
Pacífico Norte	[22 - 26 ] nov	[2 - 6] nov
Valle Central	[27 nov - 1 dic]	[12 - 16] nov
Pacífico Central	[22 - 26] dic	[7 - 11] dic
Valle del General	[22- 26] dic	[7 - 11] dic
Pacífico Sur	[11 - 15] ene	[27 - 31] dic
Zona Norte Occidental	[20 - 24] feb	[5 - 9] feb

La COENOS-IMN pronostica un trimestre conformado por los meses de octubre a diciembre del 2020 con condiciones normales en el Caribe Norte y Zona Norte; por su parte el Caribe Sur mantendrán condiciones entre 10-30% menos lluviosas de lo normal; en tanto que Pacífico Norte, Pacífico Central, Valle Central y zona GLU (Guatuso, Upala, Los Chiles) presentarán condiciones entre 10-30% menos lluviosas de lo normal; mientras Valle del General y Pacífico Sur serán las regiones más lluviosas con acumulados de entre 30-50% por arriba de lo normal. El detalle mensual se aprecia en el cuadro 2 y la perspectiva trimestral se identifica en la figura 1.



**Figura 1.** Pronóstico de lluvias para el trimestre de octubre a diciembre del 2020. (Fuente: IMN)

En cuanto a la temporada de ciclones del Atlántico, se espera la formación de al menos 3 más de estos antes de que finalice la temporada el 30 de noviembre.

Referente a la temporada de frentes fríos se estima que 11 empujes fríos ingresen al Mar Caribe, de los cuales al menos 2 afectarán el territorio nacional.

**Cuadro 2.** Perspectiva de lluvia mensual y trimestral.

REGION	OCT	NOV	DIC	OND	
Pacífico Norte					> +50%
Valle Central					[+50, +30]%
Pacífico Central					[+30, +10]%
Valle del General					[+10, -10]%
Pacífico Sur					[-10, -30]%
GLU					[-30, -50]%
Zona Norte					< -50%
Caribe Norte					Temporada seca
Caribe Sur					

## NOTA TECNICA

## Materia orgánica y disponibilidad de nitrógeno para 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)

Proyectando de manera atrevida y osada los tiempos actuales a un futuro lejano e indubitablemente incierto, aun asumiendo los inmensos riesgos que intrínsecamente acarrea el hecho de pretender imaginar posibles nuevos escenarios, vislumbran sin embargo con bastante certeza un entorno de producción agropecuaria dominado por profundos cambios en todos los órdenes, particularmente en los enfoques y sistemas empleados para obtener los alimentos que la población requiere y demanda. Dichos cambios se perfila, irán posiblemente vinculados en estrecha coherencia y articulación con los cambiantes y exigentes gustos y preferencias que vienen de forma acelerada definiendo y requiriendo los diversos tipos de consumidores y segmentos sociales en todo el mundo. Estas nuevas orientaciones apuntan posiblemente a provocar cambios significativos en materias relevantes como son: a) la calidad nutricional del producto final que se irá a consumir, b) el sistema que lo produce, cómo y con qué lo produce, c) quién o quienes lo producen, d) cadena de valor y distribución del beneficio final y e) grado de sostenibilidad ambiental y ecológica del sistema agro productivo implicado.

El modelo agrícola vigente hasta hace algunos años y que fuera fomentado en el mundo y en el país, se fundamentó en principio como bien lo apuntara Chaves (2020i), en la expansión de los monocultivos y las actividades pecuarias y consecuentemente en la ampliación del área sembrada; incorporando luego conceptos orientados a procurar alcanzar el incremento de la productividad basados en el uso de agroquímicos, semilla, maquinaria, riego, entre otros; sin prestar sin embargo, el énfasis deseado en los factores asociados con la calidad nutricional del producto y el impacto ocasionado sobre el ecosistema. Como consecuencia de la explotación de los abundantes recursos naturales disponibles en ese entonces, hay que reconocerlo, se produjo una severa degradación y afectación sistemática de las condiciones físicas, químicas y microbiológicas de los suelos, caracterizada por una disminución significativa de los contenidos de materia orgánica

y con ello un agotamiento de su fertilidad natural (Chaves, 2017, 2020e).

¿Qué relación y que tiene que ver todo esto con la materia orgánica y el nitrógeno del suelo? Se preguntarán muchos con sorpresa y hasta confusión; pues mucho, como se comentará en adelante, pues las actuales corrientes alimentarias trazan una ruta que con el tiempo se define cada vez mejor y fortalece comercialmente, lo que obligará ineludiblemente a los sistemas de producción agropecuaria actuales y futuros que pretendan participar y posicionarse en esos selectos y competitivos mercados a ajustarse a los requerimientos y obligaciones establecidas por la demanda, en este caso el exigente consumidor. En el entorno comercial actual y futuro, la demanda y no la oferta, será la que definirá que tipo y calidad de productos desea adquirir el consumidor, mandato que llegará nítido y claro al campo, los invernaderos y centros de producción. Por tanto, quién no se ajuste y alinee a ese deseo personal de quién paga por adquirir productos según su necesidad, simplemente quedará fuera del negocio y pronto desaparecerá. En este sentido los alimentos sanos, naturales, producidos con la menor intervención y empleo de agroquímicos vienen adquiriendo fuerza comercial, razón por la cual ajustar el sistema agro productivo aprovechando e incorporando los recursos naturales del suelo, entre ellos la materia orgánica, adquiere sentido y se ajusta a esta novedosa modalidad de producción. El modelo tradicional para hacer agricultura rentable y competitiva debe incondicionalmente cambiar y ajustarse, pues resulta irreconcilable con las condiciones impuestas por la realidad comercial y social actual y también la futura.

Con el objeto de abordar, abonar y ampliar en una segunda instancia sobre el tema de la materia orgánica, en extensión a lo que ya Chaves (2020b) en su artículo *“Participación del clima en la degradación y mineralización de la materia orgánica: aplicación a la caña de azúcar”*, apuntara anteriormente al respecto; se expone a continuación sobre el mismo tópico

procurando complementar y aportar a una materia tan compleja e importante como la indicada.

### La materia orgánica del suelo

La materia orgánica procede y origina a partir de la deposición natural o inducida de restos vegetales y animales en el suelo, los cuales se encuentran en diferentes grados y estados de descomposición. Parte de la misma se compone y conforma de raíces, tallos, hojas, fauna sin descomponer y parte de material ya descompuesto al cual popularmente se le conoce y nombra como “humus”. El tema vinculado con la materia orgánica es muy popular y todos se refieren de manera habitual y cómoda al término concibiendo sus beneficios, aunque tal vez no entendiendo tal vez en toda su dimensión su significado real, el cual como está demostrado es muy amplio y complejo. Como bien sabemos, su actividad en el suelo es muy dinámica y diversa si las condiciones del medio lo favorecen, involucrando elementos y mecanismos de naturaleza climática, física, química y biológica que interactúan e interrelacionan entre sí y dan lugar a la conformación del substrato natural, sobre el cual se desarrolla la vida y por ende toda la actividad agro productiva.

Con el objeto de unificar y armonizar criterios, expresa Chaves (2020d), que *“La Materia Orgánica 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.”*

Los contenidos de materia orgánica en los suelos son muy variables y están influenciados y determinados por varios factores que de manera diferencial los definen, como acontece entre otros con los siguientes: a) altitud del lugar (m.s.n.m), b) las condiciones climáticas prevalentes en especial lluvia y temperaturas, c) tipo de suelo presente y dominante, d) textura del suelo, e) características físico-químicas y biológicas, f)

particularidades y composición del material orgánico y g) profundidad del perfil del suelo.

Los beneficios de la materia orgánica son muy amplios y complejos, operando de manera diferente sobre varios procesos, muy en particular su fracción húmica, la cual presenta propiedades físicas muy especiales como son absorber una cantidad de agua superior en varias veces respecto a su propio peso, retener agua en suelos de textura arenosa lo cual resulta importante en zonas con presencia de períodos secos prolongados (régimen ústico) como es el caso de las regiones cañeras de Guanacaste y Puntarenas. De igual manera, sus propiedades cohesivas contribuyen a estabilizar los suelos arenosos. Posee la capacidad de captar calor lo que contribuye con la germinación y el retoñamiento de las plantas en el invierno y en las zonas altas más frías, como acontece en Juan Viñas. Su presencia origina y mantiene una buena estructura, con lo cual las partículas del suelo (arena, limo y arcilla) forman agregados que crean poros (macro y micro) que facilitan la penetración y movimiento del agua, el aire y las raíces por todo el perfil del suelo; con la enorme ventaja de que la misma permanece estable tanto en épocas secas como húmedas y no se desagrega por la acción del laboreo agrícola cuando es aplicado de manera óptima.

Por otra parte, la materia orgánica es una fuente rica en nutrimentos esenciales y también necesarios, que en condiciones apropiadas pueden disponerse para ser absorbidos y metabolizados por las plantas, entre ellos el nitrógeno (N). Al descomponerse por acción de los microorganismos, el N queda libre en su forma amoniacal ( $\text{NH}_4^+$ ), la cual es rápidamente convertida a su forma nítrica ( $\text{NO}_3^-$ ) para ser absorbida; su aporte de N es apreciable. La materia orgánica contiene además otros nutrimentos primarios y secundarios como fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg), azufre (S) y micronutrimentos, los cuales son convertidos a sus formas asimilables a medida que el proceso de descomposición tiene lugar. El humus actúa también como “almacén” de los nutrientes que se adicionan con la fertilización o se aportan por el proceso de la degradación y mineralización de la materia orgánica. Es fuente de energía para la mayoría de los microorganismos que actúan en el suelo aún los asociados con su propia descomposición. Por ser un asunto ampliamente expuesto con gran detalle por Chaves (2020b), no resulta

oportuno referirse de nuevo a las innumerables ventajas y beneficios aportados por la materia orgánica los cuales pueden ser revisados en dicha publicación.

Está demostrado y comprobado en la práctica agrícola, que los suelos con presencia de materia orgánica y que son activos biológicamente, presentan por lo general, un alto grado de fertilidad natural que los habilita para su uso comercial.

### ¿Qué ocurre con la materia orgánica y el nitrógeno en el suelo?

Como factor importante, determinante e incuestionable de la alimentación y con ello del proceso y esfuerzo productivo y empresarial emprendido, objetivo primario y prioritario de la agricultura, se tiene el producir y disponer para consumo humano productos de muy alta calidad nutricional que satisfagan las necesidades básicas de la población. En este particular, acontece que las proteínas representan uno de los componentes que toda persona requiere incorporar en su dieta y consumir para vivir en forma sana y equilibrada. Por origen, el nitrógeno participa de forma directa en la estructura de las proteínas, motivo por el cual su papel en la nutrición se torna esencial. Acontece sin embargo, que pese a ser el N apenas uno de los 16 elementos calificados como “esenciales” para inducir y completar el desarrollo de las plantas, representa uno de los nutrimentos más críticos y difíciles de controlar, ya que por naturaleza, dinámica y movilidad constituye uno de los que mayor deficiencia presenta en los suelos de uso agrícola del mundo como lo han mencionado Chaves (1999, 2010, 2017) y FAO (2017). Esta realidad y la imperiosa e insoslayable necesidad de tener que satisfacer las crecientes demandas alimentarias y necesidades proteínicas mundiales en un entorno cada vez más difícil y agreste, han provocado un incremento desmedido en el uso de los fertilizantes nitrogenados con los problemas asociados a sus excesos y mal uso. Sobre el N se ha generado una inconveniente dependencia del sistema agro productivo cada vez mayor.

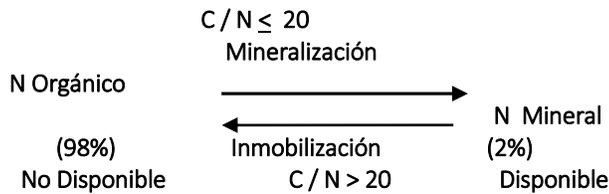
Una revisión de factores interventores revela que el componente mineral que conforma el suelo no contiene N, proviniendo la mayor parte del mismo de la atmósfera, la cual cuenta con cerca del 78-80% (20% restante es oxígeno y otros gases) en forma gaseosa ( $N_2$ ). Para que el mismo pueda ser utilizado por las plantas tiene necesariamente que combinarse

con otros elementos y ser arrastrado hasta el suelo sea por la lluvia o en su caso ser fijado por los microorganismos, principalmente bacterias simbióticas y no simbióticas. El contenido total de N presente en los suelos puede variar de 0,02% a 0,5%, siendo los contenidos de 0,10% los más comunes de encontrar.

Se estima que entre el 97-98% del N presente en el suelo se encuentra en formas orgánicas como proteínas, aminoácidos, etc., conformando la materia orgánica. Pese a que esas formas nitrogenadas no son asimilables por las plantas, representan su principal reservorio. En contraparte, el N-inorgánico representa según Chaves (1999), apenas el 2% del N total, siendo el N disponible y accesible para las plantas el presente como iones amonio ( $NH_4^+$ ), amoníaco ( $NH_3$ ), nitrato ( $NO_3^-$ ), óxido nitroso ( $N_2O$ ), óxido nítrico (NO) y nitrito ( $NO_2^-$ ). Cotejando la situación existente en la actualidad se encuentra que la misma esta confrontada, entre: a) la obligación nutricional de contar con mejor calidad de alimentos, b) necesidad creciente por acceder fuentes de proteína, c) déficit creciente de N en los suelos, d) N absorbible presente en forma inorgánica y e) necesidad de contar con fertilizantes nitrogenados apropiados para satisfacer los requerimientos agrícolas y ambientales. Esta coyuntura agropecuaria cada vez más limitante obliga buscar nuevas vías de solución al problema, entre las cuales pueden indicarse y sugerirse las siguientes: a) utilizar más fertilizantes nitrogenados de formulación sintética dotados de nuevas características, b) optimizar y ajustar el empleo del N a lo razonable y técnicamente recomendable, c) buscar otras formas de incorporar N utilizando abonos de origen orgánico y d) uso de coberturas vivas empleando leguminosas fijadoras de N como mucuna, crotalaria, kudzú, canavalia, frijoles, gandul, arveja, vainicas, cubá, trébol, entre otras.

Independientemente de la forma en que se encuentre el N en el suelo, aún las inorgánicas, las mismas deben pasar a formas orgánicas sea por absorción vegetal o microbial (Inmovilización). El N orgánico luego que el ser vivo muere pasa por descomposición natural nuevamente a su forma inorgánica. Como fue ampliamente comentado por Chaves (1999, 2010, 2020b), la **Mineralización** transforma las formas orgánicas no disponibles de N a inorgánicas; la acción inversa es conocida como **Inmovilización** y favorece el paso de formas minerales inorgánicas a orgánicas, manteniendo en todo este proceso el

clima un rol determinante y decisivo. Seguidamente se muestra la relación existente entre las formas nitrogenadas presentes en el suelo, en la cual la relación Carbono/Nitrógeno (C/N) es determinante, como lo señalaran ampliamente Chaves (1999, 2020b), FAO (2017) y Velarde *et al* (2004).



En la Mineralización se da el paso continuo de degradación (catabolismo) de formas orgánicas a inorgánicas con la participación de microorganismos especializados.

La transformación de los residuos vegetales que se depositan en el suelo ocurre como se ha reiteradamente señalado, por medio de la acción de los microorganismos en actividades continuas que pueden separarse para mejor comprensión en dos etapas: a) desintegración física del material y b) descomposición química y microbiológica del mismo.

En la primera se da el fraccionamiento y descomposición de los residuos vegetales orgánicos y en la otra estos son descompuestos hasta sus unidades estructurales básicas por enzimas extracelulares hasta transformar la biomasa.

La secuencia de etapas sucesivas donde se producen las formas diferenciadas de N se muestra para mejor comprensión en la figura 1 siguiente.



**Figura 1.** Fases secuenciales de la Mineralización de la materia orgánica en el suelo.

Es importante mencionar que las materias orgánicas iniciales sirven como fuente de energía y de carbono (C) para la acción que desarrollan los organismos heterotróficos (utilizan el C como fuente de energía) en su descomposición. De manera genérica son tres las etapas que como anotara Chaves (1999,

2010), describen resumidamente el proceso de Mineralización de la materia orgánica en el suelo, las cuales conciernen a:

- 1) **Aminación:** corresponde a la fase inicial donde la materia orgánica presente en sus formas naturales integradas y más complejas (hojas, tallos, raíces, frutos, fauna, etc.) pasa a ser descompuesta, desagregada, fraccionada y llevada hasta sus componentes más simples por la acción de organismos heterótrofos como bacterias, hongos y actinomicetos (utilizan el C como fuente de energía), que por digestión enzimática (proteolítica) provocan la ruptura de las estructuras celulares, en este caso de las proteínas y compuestos afines, liberando el N en su forma amónica como aminas y aminoácidos. Este proceso genera liberación de energía en forma de calor.
- 2) **Amonificación:** los productos (aminas y aminoácidos) liberados en la fase anterior son en este caso afectados y descompuestos también por organismos heterótrofos, que como resultado generan N amoniacal ( $N-NH_4^+$ ) a partir de los aminoácidos; el cual puede tomar varias vías: a) seguir en fase continua de transformación hacia la nitrificación ( $NO_2^-$  y  $NO_3^-$ ), b) gasificarse y perderse como amoníaco ( $NH_3$ ) en condiciones anormales (anaeróbicas), c) ser absorbido por las raíces de las plantas, d) utilizado (Inmovilizado) por los organismos descomponedores del suelo, e) ser adsorbido y retenido por las arcillas (tipo 1:1 y 2:1) o en su caso fijado (2:1 como montmorillonita, vermiculita e illita) en forma de complejos organominerales como puede acontecer en los suelos del orden Vertisol de Guanacaste, f) incorporarse a la fracción de humus y g) lavarse por lixiviación y perderse hacia las capas internas del suelo sobre las fuentes nítricas altamente solubles.
- 3) **Nitrificación:** comprende la transformación del N hasta llevarlo a la forma química de nitratos, donde el  $NH_4^+$  es mineralizado a partir de las formas orgánicas, así como también involucra al  $NH_4^+$  que es incorporado al suelo con los fertilizantes, el cual es transformado en  $NO_3^-$  por medio de bacterias nitrificantes. En este caso el  $NH_4^+$  sirve también como fuente energética para operar esa acción microbiana, ejecutada por organismos autotróficos que obtienen su energía a partir de la oxidación de sales inorgánicas simples y del carbono del  $CO_2$  atmosférico. La Nitrificación se realiza en dos fases simultáneas con velocidades similares. En la primera fase el ion  $NH_4^+$  es

convertido en nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ), principalmente por las bacterias *Nitrosomonas*, para que luego ese  $\text{NO}_2^-$  sea transformado en  $\text{NO}_3^-$  por bacterias del género *Nitrobacter*. Debe tenerse presente que la fuente nítrica es altamente soluble y susceptible de perderse con facilidad en el suelo, lo que aplica y tiene alcance para los fertilizantes comerciales. En estas reacciones el grado de aireación presente y la cantidad de amonio producida controlan la nitrificación de manera apreciable. En el proceso hay producción también de iones  $\text{H}^+$  que contribuye a modificar la acidez del medio y reducir el valor de pH del suelo y con ello la actividad de las bacterias involucradas, la cual será acentuada si el pH cayera por debajo de 5,5.

La velocidad con la cual ocurre el proceso de mineralización de la materia orgánica en el suelo depende de la presencia o no, así como la intensidad en que se encuentren y operen varios factores que la influyen y determinan como son las condiciones ambientales, el clima y el tipo de material por alterar, los cuales condicionan la actividad desarrollada por los microorganismos descomponedores. En resumen, pueden anotarse como factores interventores de la mineralización: la mineralogía de las arcillas presentes, la aireación del medio, la humedad, la temperatura, el índice de pH, la relación C/N del material, la presencia de materiales orgánicos y la calidad de los mismos (presencia de resinas, taninos), como también el manejo a que es sometida la misma.

De acuerdo con el grado de estabilidad de los compuestos, por lo general la descomposición de los materiales orgánicos es lenta. En este caso la denominada relación Carbono/Nitrógeno (C/N) es muy importante y fundamental en el proceso, como lo explicara con detalle Chaves (1999, 2010, 2020b). En caso que el material a ser descompuesto posea una baja concentración de N en relación al C (alta relación C/N) como ocurre con la paja de arroz, maíz, sorgo, trigo y la misma caña, los microorganismos presentes utilizarán el N presente en el suelo como  $\text{NH}_4^+$  y  $\text{NO}_3^-$  para promover la descomposición favoreciendo su Inmovilización. Si por el contrario el material orgánico posee un alto contenido de N en comparación con el C (baja relación C/N), como acontece con los restos vegetales de leguminosas, la descomposición será entonces muy rápida y en consecuencia la cantidad de N incorporada al suelo será alta.

Chaves (2010) menciona y hace referencia puntual a las características y relaciones C/N de algunos materiales con potencial uso agrícola. No cabe la menor duda en reconocer que la velocidad de mineralización ideal y más conveniente para un sistema productivo, será aquella que sea compatible y conforme con la velocidad de absorción que la planta haga de los nutrientes liberados en especial el nitrógeno.

Puede ocurrir sin embargo, que por diversas circunstancias, algunas controlables otras no, ocurran mermas de N en el suelo de diferente magnitud que constituyen pérdidas netas del mismo, las cuales se dan por procesos muy diversos (Chaves 1999, 2010, 2017, 2019, 2020cefgi), como los siguientes: 1) **Lixiviación**: se da por lavado del N en zonas de alta precipitación y suelos de textura arenosa, sobre todo en el caso de los nitratos solubles; 2) **Fijación**: algunas arcillas retienen y adsorben con fuerza el elemento limitando su absorción por las raíces, mecanismo en el cual intervine también de forma importante el régimen de humedad prevaeciente; 3) **Denitrificación**: estas pérdidas ocurren en condiciones anaeróbicas como inundación donde hay exclusión de oxígeno ( $\text{O}_2$ ); 4) **Inmovilización**: es un proceso de carácter inverso a la mineralización y ocurre por causa de la absorción e incorporación del N-inorgánico en la estructura vital de los microorganismos, el cual se torna disponible una vez que este muere; 5) **Volatilización**: el N amoniacal se convierte en gas amoniacal y se pierde a la atmósfera por presencia de condiciones secas, calientes y con pH altos; 6) **Erosión**: es una pérdida física de partículas de suelo y fertilizante por arrastre causado por erosión hídrica y eólica y 7) **Remoción por cultivos**: plantas fuertemente extractoras y productoras de biomasa como la caña de azúcar, utilizan cantidades apreciables de N que tiene como origen el suelo y los fertilizantes, el cual sale del medio con cada cosecha. Como se infiere, indudablemente la naturaleza, dinámica y solubilidad del N en el suelo es alta y la susceptibilidad y posibilidad a perderse muy elevada, lo que debe extremar las medidas empleadas para optimizar su manejo en cualquier sistema de producción agrícola.

### Humus

En virtud de su reconocido y difundido empleo como referente del tema orgánico, conviene ahondar un poco en lo concerniente a este término tan popular difundido entre la

población. Humus en la semántica popular se refiere indiscriminadamente a todo tipo de materia orgánica presente en el suelo, independientemente de su grado de descomposición y de su estado de agregación. Desde el punto de vista pedológico, el humus es concebido como un agregado de compuestos orgánicos de composición indefinida, bastante uniforme desde el punto de vista físico, por los agentes de descomposición, confiriéndole por ello una naturaleza amorfa.

El humus tiene por origen y proviene de la descomposición (mineralización) que los organismos y microorganismos (principalmente hongos y bacterias) provocan en la materia orgánica, llegando a formar parte importante del suelo; se compone de productos orgánicos de naturaleza coloidal que se unen a las arcillas. Se le considera por sus propiedades el compuesto más estable de la materia orgánica y su presencia en la misma representa y califica como uno de los indicadores más directos de su calidad. Se caracteriza por poseer un color oscuro debido a su alto contenido de carbono. Lo común es encontrarlo más concentrado en la sección superficial de los suelos con actividad orgánica.

Mencionan Velarde *et al* (2004) al describir el compuesto, que *“El humus es un polímero tridimensional de carácter ácido, alto peso molecular y estructura con un núcleo de compuestos aromáticos y cadenas laterales integradas por carbohidratos, así como cadenas alifáticas con grupos funcionales que facilitan la retención de nutrientes. Puede considerarse como un compuesto resultante de la unión de restos de proteína con la lignina no descompuesta, en asociación con materiales inorgánicos. En las formaciones húmicas participan las proteínas tanto como deyecciones de microorganismos y partes estructurales de los mismos. Las partículas de humus no son solubles en agua, pero pueden encontrarse en suspensión coloidal. Los coloides se caracterizan por una gran área externa e interna, que favorece el intercambio catiónico y por tanto las reacciones químicas y físicas. A esta función facilitadora de reacciones se une en el humus la de ser un liberador lento de nutrientes (contiene entre 3,5 y 5 por ciento de nitrógeno, con una relación carbono/nitrógeno próxima a 10) y favorecer el desarrollo de la estructura del suelo y la retención de humedad.”*

### Nitrógeno y caña de azúcar

Definitivamente cuando se habla de nutrición y fertilización en cualquier cultivo entre ellos la caña de azúcar, hay que destacar siempre el N virtud de su función y funcionabilidad en el suelo y en la planta, pues como se ha demostrado, tiene una amplia participación e intervención en procesos microbiológicos, físico-químicos y metabólicos, todos influenciados por los elementos del clima. El elemento destaca como uno de los más importantes por su participación directa en el metabolismo y la fisiología del desarrollo, lo que se traduce comercialmente en producción de biomasa y consecuentemente en mayor tonelaje de materia prima y mejores rendimientos agroindustriales. El N en el suelo y la planta está regulado y opera bajo los principios asociados a los sinergismos y antagonismos, motivo por el cual se debe conocer muy bien su función y su funcionabilidad y también los efectos que en las diferentes fases del ciclo vegetativo y procesos metabólicos implicados tiene.

El abordaje del tema resulta siempre corto e insuficiente en consideración a la gran cantidad de asuntos que deben atenderse y cubrirse para comprender mejor su naturaleza y actividad, como son entre otros los relativos a: a) el N en la materia orgánica; b) mineralización y disponibilidad de N en el suelo; c) características del elemento; d) formas absorbibles; e) pérdidas en el suelo; f) absorción por la raíz; g) transporte, movilización y asimilación en la planta; h) fijación simbiótica; i) fertilizantes comerciales nitrogenados orgánicos e inorgánicos; j) requerimientos por las plantas (kg/ha); k) N y calidad nutricional; l) N y ambiente y m) respuesta agroindustrial de la planta a la adición del nutrimento. Como se infiere, por su naturaleza, propiedades y características particulares el manejo del N es amplio, sensible y muy complejo.

Los altos requerimientos que las plantas tienen por el nutrimento ha sido la razón de considerarlo, de modo general, como el más limitante para los cultivos y la agricultura. En Costa Rica particularmente en el caso de la caña de azúcar se ha realizado bastante investigación sobre este nutrimento, lo que ha permitido establecer y definir *“superficies de respuesta”* en las cuales según sea la condición del entorno agro productivo, es posible ubicar la mejor dosis de respuesta productiva a la adición del elemento basada en antecedentes de investigación. De acuerdo con esas relaciones *“dosis-producción”* se ha

determinado que el ámbito de respuesta del N en el país varía entre 80 y 300 kg/ha para ciclo planta y de 100 a 300 kg/ha en el caso de las socas o retoños. Las dosis más bajas se han logrado ubicar en la región cañera (<400 m.s.n.m) de Guanacaste y Puntarenas (Pacífico Seco) y las mayores precisamente en las regiones altas (>1.000 m.s.n.m) donde el ciclo vegetativo de la planta requiere de 18 a 24 meses desde siembra hasta cosecha. Se estima a partir del resultado de 54 reportes internacionales que para producir una tonelada de caña comercial, la planta de caña extrae del suelo entre 0,44 y 2,24 kg de N/ha para un promedio de 0,93 kg/ha, lo que revela una relación próxima de 1:1 entre N/tonelaje que sugiere que por cada tonelada de materia prima obtenida debo adicionar un kilogramo de N. El efecto del N en el cultivo se traduce en un mayor desarrollo radicular y una mejor germinación, brotación, retoñamiento, ahijamiento, crecimiento y desarrollo general de la plantación de caña (Chaves, 1999, 2010, 2016ab, 2017, 2020cf).

En torno a ese tema expresa Chaves (2016b), que *“Se evidencia e infiere a partir de dichos resultados la alta variabilidad observada en las respuestas de la planta, producto de la diversidad y heterogeneidad propia de las condiciones en que se cultiva la caña de azúcar en Costa Rica, con altitudes de 0 a 1.500 msnm, presencia de 7 ordenes taxonómicos predominantes de suelos, como son: Inceptisoles, Ultisoles, Vertisoles, Alfisoles, Andisoles y Mollisoles, principalmente; y condiciones de clima muy dispares entre regiones, zonas y localidades.”*

No puede ni debe obviarse la importancia que las condiciones particulares y específicas de los diferentes entornos agro productivos nacionales donde se produce caña de azúcar en Costa Rica marcan, en relación con las necesidades y las respuestas que el N genera a su adición al suelo, motivo por el cual no puede ni debe de ninguna manera generalizarse. Como fue demostrado por Chaves (2019), las diferencias regionales en materia de clima, suelos, condiciones de producción y manejo existentes en el país son extremas, lo que se proyecta a los potenciales de productividad agroindustrial obtenidos y reportados. No cabe la menor duda que el potencial innato que la planta de caña naturalmente posee en términos anatómicos, genéticos y fisiológicos como está demostrado, le confieren un potencial elevado para aspirar a lograr altas productividades

sostenibles en el tiempo, lo cual debe motivar a aprovecharlos. No cabe duda en asegurar que *“el azúcar se hace en el campo y no en la fábrica”* y el N es parte importante de esa realidad productiva (Chaves, 2020ach)

En este tema tan específico y tan difundido a nivel de campo, es siempre conveniente y sano dejar patente que la práctica de la fertilización debe conceptual y pragmáticamente responder necesaria e insoslayablemente a una noción de nutrición integrada y no apenas individual, donde también participan otros nutrimentos y factores de la producción que intervienen y determinan en alto grado los resultados productivos agroindustriales. El N al igual que los otros nutrimentos opera bajo principios de sinergia y antagonismo respecto a otros elementos y factores, nunca independientemente.

#### Mantenimiento del componente orgánico del suelo

En los suelos cultivados el contenido de materia orgánica disminuye con el paso del tiempo si esta no es restituida, siendo esta reducción por lo general acelerada por la presencia de factores inductores que la favorecen, como son la humedad, la temperatura, la aireación y el enclado, entre otras; en consecuencia, los suelos sembrados con caña de azúcar y que son sometidos a una explotación intensiva se van con el tiempo empobreciendo y degradando, tornándolos infértiles e improductivos (Chaves, 2020e). Ciertamente una importante cantidad de humus se forma a partir de los restos vegetales y animales depositados en el suelo, lo cual sin embargo, no es suficiente para compensar y subsanar las pérdidas provocadas por la labranza continua y la extracción provocada por los cultivos; por este motivo, dichas pérdidas se deben compensar con el objeto de mantener activa la fertilidad del suelo. La agregación de humus al suelo mediante la incorporación de materiales orgánicos de calidad es el mejor instrumento pragmático para resolver la limitante.

En el caso nacional, las nuevas oportunidades comerciales emergentes surgidas con la apertura y promoción de los mercados orgánicos y productos naturales sanos, aunado a la difícil realidad actual que atraviesa la agricultura costarricense por causa de lo elevado de la carga química incorporada en el campo, los serios y nada estimulantes problemas existentes con el registro y autorización de uso de nuevos agroquímicos, las limitantes y restricciones surgidas con las regulaciones y

controles ambientales establecidas por el Estado y las impuestas por las certificadoras de procesos y productos; vienen incidiendo de manera decisiva en la imperiosa necesidad de incorporar cambios de fondo en lo concerniente al uso de agroquímicos y operación de los sistemas agroproductivos tradicionales. Esta realidad obliga maniobrar bajo un nuevo paradigma productivo y comercial, que promueva, habilite y estimule el empleo del recurso biológico y etológico en el control fitosanitario de plagas y enfermedades, en la genética de los cultivos y en el uso de coberturas vegetales vivas para controlar malezas, buscar equilibrio natural e incorporar adicionalmente nutrimentos al suelo, particularmente N como base proteínica. El cambio de mentalidad del agricultor es necesaria.

Históricamente la incorporación, enriquecimiento y manutención del contenido orgánico de los campos cultivados se realizaba por medio de las prácticas de manejo ordinario y habitual de las plantaciones comerciales, lo cual se ejecutaba recogiendo, acumulando (gavetas), depositando y alineando los materiales vegetales residuales o remanentes que quedaban luego de efectuar las actividades de manejo, como eran las chapias de maleza, el corte de arbustos, el despunte de árboles, la poda de plantas, el arreglo de cercas vivas; o simplemente, no eliminando los residuos del lugar.

Lo anterior en el caso de la caña de azúcar se favorecía mucho, pues la práctica de quemar las plantaciones para su cosecha era en esas épocas muy baja, tampoco había cosecha mecánica, lo cual incrementaba notablemente el volumen de biomasa generado por la planta y que permanecía en el campo luego de la cosecha. Era común en la agricultura de antaño la adición de boñiga, sangre seca, harina de hueso, cachaza, cenizas de caldera, broza de café, residuos porcinos y aviaries, entre otras muchas materias orgánicas.

Tampoco existía esa creencia arraigada en la actualidad, de que lo correcto y apropiado de un buen manejo agronómico era mantener las plantaciones comerciales completamente limpias y libres de la presencia de otras especies vegetales (malezas), lo cual como sabemos hoy día es un craso error técnico sin entrar en otras consideraciones vinculadas también válidas, pues lo que importa es conocer, evitar y superar los periodos de competencia y afectación del arvense.

### ¿De qué se compone la materia orgánica cañero-azucarera?

Hay que admitir que la grandeza y fortaleza del cultivo de la caña de azúcar se fundamenta en sus destacados atributos, propiedades y características naturales sobresalientes que la conforman y estructuran, y que de acuerdo con Chaves (2020a) tiene alcances anatómicos, genético y eco fisiológicos que la distinguen de otras plantas.

Ese mismo autor (Chaves, 2020b) al describir la naturaleza y conformación fraccional de la materia orgánica e inorgánica residual que se encuentra, produce y es depositada por lo general en los campos sembrados con caña (figura 2 y 3), indica que *“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.”*

*Adicionalmente se tienen aguas residuales y vinazas resultantes de la fermentación de etanol conteniendo carga orgánica.”*



**Figura 2.** Producción de biomasa por plantaciones comerciales de caña de azúcar.



**Figura 3.** Residuos orgánicos resultantes de la cosecha de plantaciones de caña de azúcar.

Como ha sido valorado y demostrado, las cantidades y calidades de material residual orgánico y no orgánico generadas por

parte de la agroindustria cañero-azucarera costarricense son bastante elevadas y potencialmente accesibles y fáciles de ubicar, como lo estimara con detalle Chaves (1985ab, 2001, 2007) en sus estudios y proyecciones nacionales. Como puede inferirse y proyectarse, buena parte de esos materiales, derivados y residuos agroindustriales ofrecen una amplia posibilidad de operar como fuentes potenciales de materia orgánica en el suelo, lo que habilita y sugiere la incorporación de valor agregado en presentaciones comerciales como abonos, efluentes o fertilizantes enriquecidos. La agroindustria azucarera costarricense, no hay duda, posee los recursos suficientes emanados de su propia actividad agrícola e industrial, representados por residuos, derivados y efluentes dotados con una importante carga orgánica, que bien organizados, tratados y operados en el campo, pueden complementar y satisfacer parcialmente las necesidades de materiales orgánicos orientadas a inducir y estimular la mejora físico-química y biológica de sus suelos; con lo cual se provocaría un interesante y nada despreciable beneficio productivo, ambiental y económico. Debe conceptualizarse el sistema productivo de la caña de azúcar como un sistema endógeno, cerrado y parcialmente autosuficiente.

### Conclusión

Es un hecho técnico y comercialmente comprobado que la producción agrícola eficiente, rentable y competitiva de caña de azúcar, depende y está supeditada y casi subordinada a la disponibilidad de suelos capaces de desarrollar plantaciones con altos rendimientos agroindustriales sostenibles en el tiempo. La capacidad del suelo para impulsar una buena plantación es un válido y eficiente indicador para valorar e interpretar su grado potencial y real de fertilidad natural. Esta capacidad varía sin embargo de acuerdo con las condiciones diferenciadoras del clima y el suelo y, por consiguiente, con su tipo, definido por su orden taxonómico de origen (Chaves, 2017).

Es importante conceptualizar y tener muy presente que un suelo no es un cuerpo muerto, inerte e inactivo, sino por el contrario, un cuerpo vivo en constante y permanente transformación. Esas transformaciones son de carácter físico, químico y biológico, las cuales acontecen y se dan principalmente en el horizonte superficial y hasta una

profundidad variable del perfil que puede llegar hasta los 25 cm o más. Dichos cambios provocan modificaciones graduales y constantes en las propiedades del suelo, afectando sus principales constituyentes, como son en este caso el componente mineral (sólido), acuoso (líquido), gaseoso (aire) y biológico. No puede ni debe obviarse y menos desconocerse que la magnitud, intensidad y naturaleza de las reacciones son influidas, determinadas y por lo general gobernadas, por: a) las condiciones del clima prevaleciente principalmente en lo relativo a humedad y temperatura y b) las prácticas agrícolas incorporadas principalmente en lo concerniente a labranza y fertilización. Los efectos combinados entre la temperatura y la humedad del suelo, son más determinantes que el efecto individual que esas mismas variables puedan ejercer independientemente sobre el ecosistema. El efecto combinado de esos factores y reacciones induce y provoca las transformaciones que se dan en los suelos, las cuales pueden ser favorables o por el contrario contraproducente para alcanzar satisfacer los objetivos y metas comerciales y empresariales pretendidas.

En todo esto es definitivo que la materia orgánica juega un papel fundamental que no puede de ninguna manera ser obviado y menos desconocido. La materia orgánica ha sido a través de los siglos, el punto culminante de apoyo sobre el que se ha sustentado la agricultura de los pueblos, hoy, como factor condicionante resulta casi imprescindible, pues pensar en sistemas productivos eficientes y competitivos sin su uso resulta realmente cuestionable. Acontece sin embargo que, los principios fundamentales de la ciencia del suelo, vienen siendo comprometidos y empañados por la predominancia de la tradicional fórmula NPK y el exclusivismo de su uso. Resulta necesario advertir y llamar la atención juiciosa y sensata en estos momentos, sobre la necesidad precautoria de no prescindir del precioso recurso que significa la materia orgánica como factor de equilibrio y beneficio en la preservación de la productividad, mitigación de la degradación y la sanidad del suelo como bien universal. Lo que fomenta esa conducta productiva degradativa son las fuerzas e intereses económicos y comerciales que, en el afán de lograr lucros inmediatos, sin ningún recato y moderación, pasan por encima y violentan los principios consagrados en el resguardo y mejora del recurso suelo. Resulta por ello imperativo y necesario, procurar equilibrar mediante el uso de la materia orgánica los

indicadores que determinan la fertilidad y la estructura activa de un suelo, por cuanto ambos son dependientes de la actividad biológica. La solución está a la mano y consiste en reponer la materia orgánica contenida y consumida en los suelos de uso agropecuario, entre ellos los cultivados con caña de azúcar.

#### Literatura citada

- 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 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. 2001. *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. 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.
- 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. 2019. *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, germinación, ahijamiento y retoñamiento de la caña de azúcar.* Boletín Agroclimático (Costa Rica) 2(14): 6-14, julio.
- Chaves Solera, M.A. 2020e. *Clima, degradación del suelo y productividad agroindustrial de la caña de azúcar en Costa Rica.* Boletín Agroclimático (Costa Rica) 2(15): 5-13, julio.
- Chaves Solera, M.A. 2020f. *Clima y erosión de suelos en caña de azúcar en Costa Rica.* Boletín Agroclimático (Costa Rica) 2(16): 7-16, agosto.
- Chaves Solera, M.A. 2020g. *Clima, acidez del suelo y productividad agroindustrial de la caña de azúcar en Costa Rica.* Boletín Agroclimático (Costa Rica) 2(18): 8-17, agosto.
- Chaves Solera, M.A. 2020h. *El azúcar se hace en el campo y extrae en la fábrica: una verdad incuestionable.* Boletín Agroclimático (Costa Rica) 2(19): 6-13, setiembre.
- Chaves Solera, M.A. 2020i. *Clima, suelo y manejo: factores determinantes en la compactación de los suelos.* Boletín Agroclimático (Costa Rica) 2(20): 5-15, setiembre.
- FAO. 2017. *Carbono Orgánico del Suelo: el potencial oculto.* Roma, Italia. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. 90 p.
- 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.

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)