

Periodo 31 de agosto al 13 de setiembre 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 17 DE AGOSTO AL 23 DE AGOSTO

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 Veintisiete de abril de Santa Cruz, Sardinal, Nosara, Santa Elena de La Cruz, Upala, Quesada de San Carlos, San Pedro de Santa Barbara, Telire de Talamanca, San Pedro de Perez Zeledón, Palmar y Puerto Jiménez de Osa, así como Puerto Viejo y Horquetas de Sarapiquí. Mientras Cuajiniquil de Santa Cruz sobrepaso los 480 mm de lluvia acumulada en la semana.

A nivel nacional, los registros de lluvia de 104 estaciones meteorológicas consultadas muestran al viernes como el día más lluvioso, mientras el sábado presentó los menores acumulados, con un 9% del total que registra el día con los mayores acumulados semanales.

## RESUMEN DE LAS CONDICIONES DE LA SEMANA DEL 24 DE JULIO AL 30 DE AGOSTO

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

Los distritos que sobrepasaron los 300 mm de lluvia acumulada en la semana fueron Santa Elena de La Cruz, Sardinal de Carrillo, Tamarindo y Nicoya. Por su parte Nosara de Nicoya sobrepaso los 500mm; mientras Veintisiete de abril y Cuajiniquil de Santa Cruz sobrepasaron los 700 mm de lluvia acumulada en la semana.

A nivel nacional, los registros de lluvia de 89 estaciones meteorológicas consultadas muestran al miércoles como el día más lluvioso, mientras el domingo presentó los menores acumulados, con un 13% del total que registra el día con los mayores acumulados semanales.

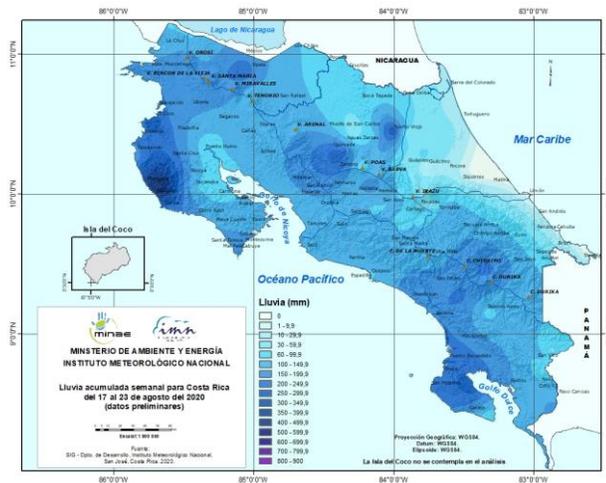


Figura 1. Valores acumulados de la precipitación (mm) durante la semana del 17 de agosto al 23 de agosto del 2020 (datos preliminares).

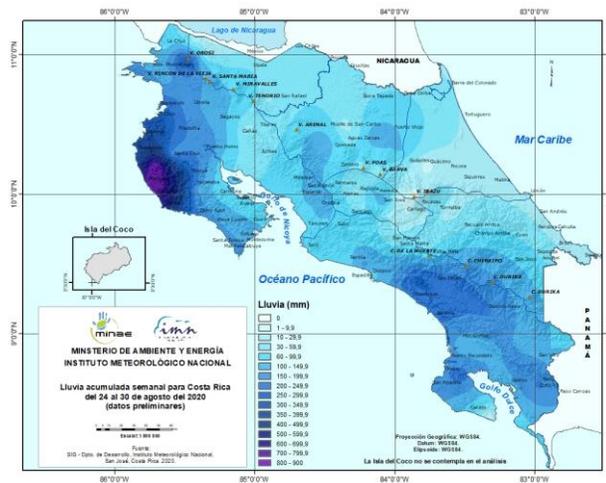


Figura 2. Valores acumulados de la precipitación (mm) durante la semana del 24 de agosto al 30 de agosto del 2020 (datos preliminares).

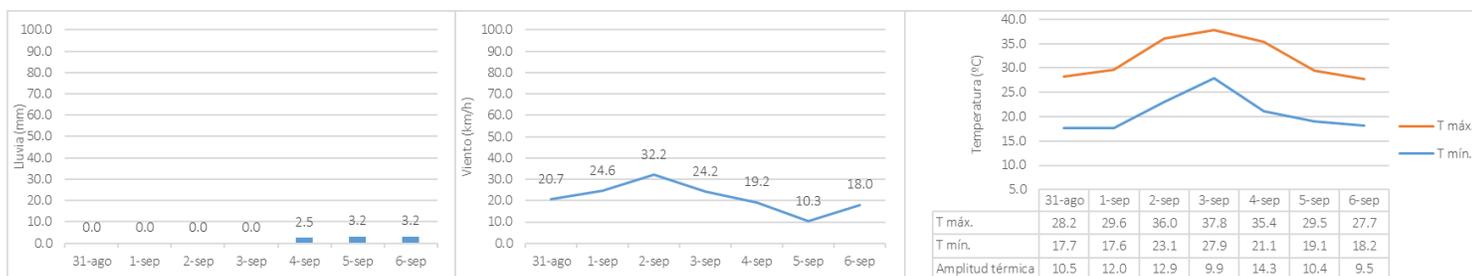
## PRONÓSTICO PARA LAS REGIONES CLIMÁTICAS PERIODO DE 31 DE AGOSTO AL 06 DE SETIEMBRE DE 2020

Durante la semana se esperan condiciones menos lluviosas de lo normal en todo el país, de forma que la vertiente Caribe mostrará condiciones más secas de lo normal; mientras la vertiente Pacífico, Zona Norte, Valle Central presentarán condiciones levemente menos lluviosas de lo normal. En cuanto a la temperatura media, esta se mantendrá levemente más cálida de lo normal en la vertiente Caribe, Valle Central y Zona Norte; mientras la vertiente Pacífico evidenciará condiciones levemente más frías de lo normal.

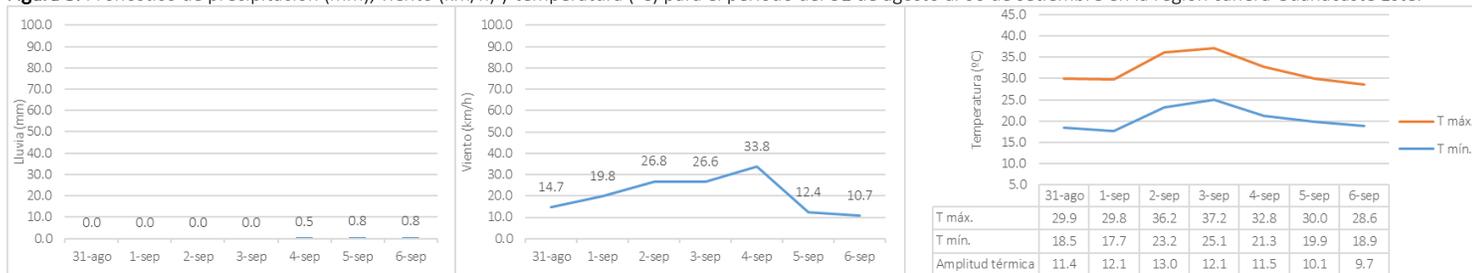
## PRONÓSTICO PARA LAS REGIONES CAÑERAS PERIODO DEL 31 DE AGOSTO AL 06 DE SETIEMBRE DE 2020

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, principalmente para la Zona Sur. Las regiones cañeras en general mantendrán una reducción en la velocidad del viento en la segunda mitad de la semana, a excepción de la Zona Norte y Guanacaste Oeste que tendrán su máximo de viento en la segunda mitad de semana; mientras Turrialba presentará viento mayormente constante. Las áreas cultivadas tendrán amplitudes térmicas homogéneas, con los valores superiores de la temperatura máxima y temperatura mínima a mediados de semana.

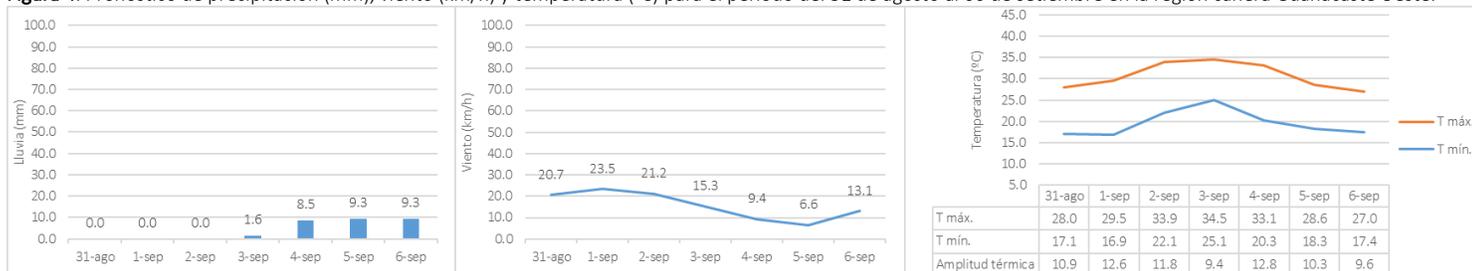
*“Se estima el tránsito de onda tropical #33 en la primera mitad de semana y la onda tropical #34 hacia el fin de semana.”*



**Figura 3.** Pronóstico de precipitación (mm), viento (km/h) y temperatura (°C) para el periodo del 31 de agosto al 06 de setiembre en la región cañera Guanacaste Este.



**Figura 4.** Pronóstico de precipitación (mm), viento (km/h) y temperatura (°C) para el periodo del 31 de agosto al 06 de setiembre en la región cañera Guanacaste Oeste.



**Figura 5.** Pronóstico de precipitación (mm), viento (km/h) y temperatura (°C) para el periodo del 31 de agosto al 06 de setiembre en la región cañera Puntarenas.

Agosto 2020 - Volumen 2 – Número 18

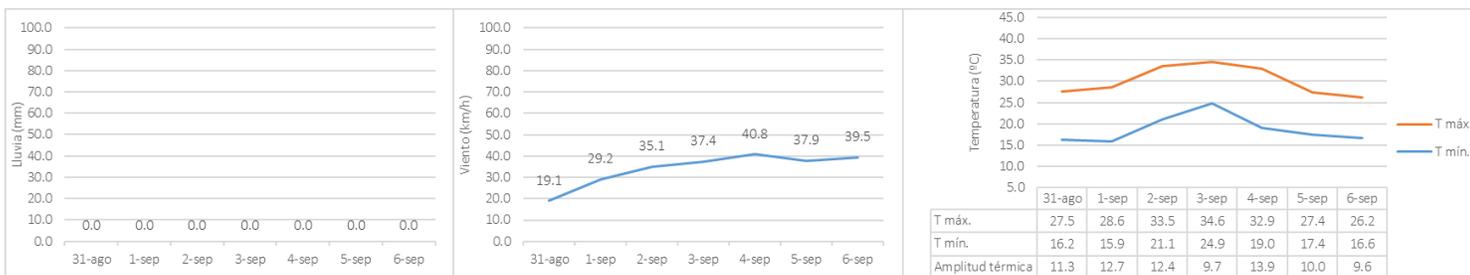


Figura 6. Pronóstico de precipitación (mm), viento (km/h) y temperatura (°C) para el periodo del 31 de agosto al 06 de setiembre en la región cañera Zona Norte.

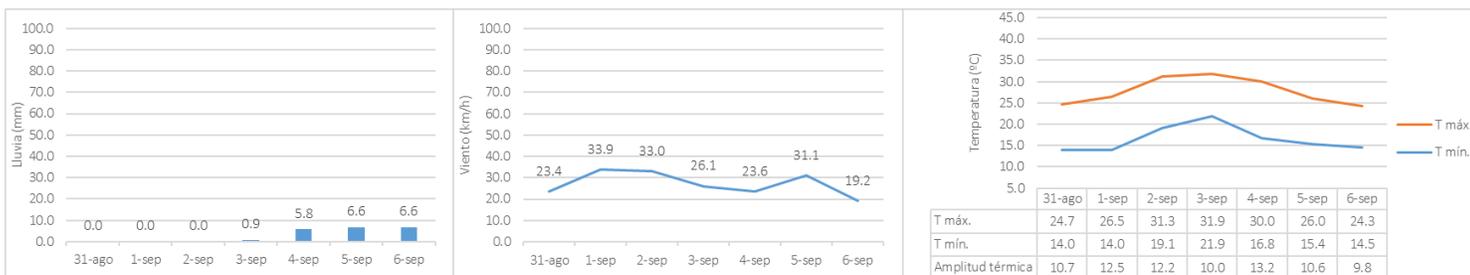


Figura 7. Pronóstico de precipitación (mm), viento (km/h) y temperatura (°C) para el periodo del 31 de agosto al 06 de setiembre en la región cañera Valle Central Este.

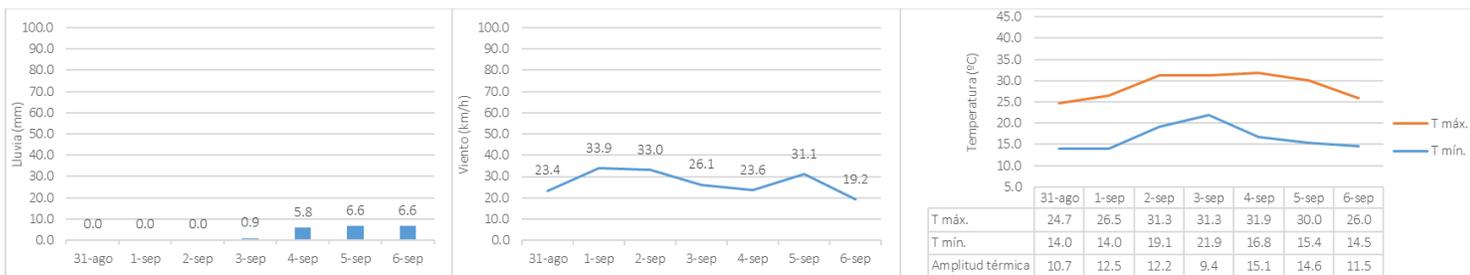


Figura 8. Pronóstico de precipitación (mm), viento (km/h) y temperatura (°C) para el periodo del 31 de agosto al 06 de setiembre en la región cañera Valle Central Oeste.

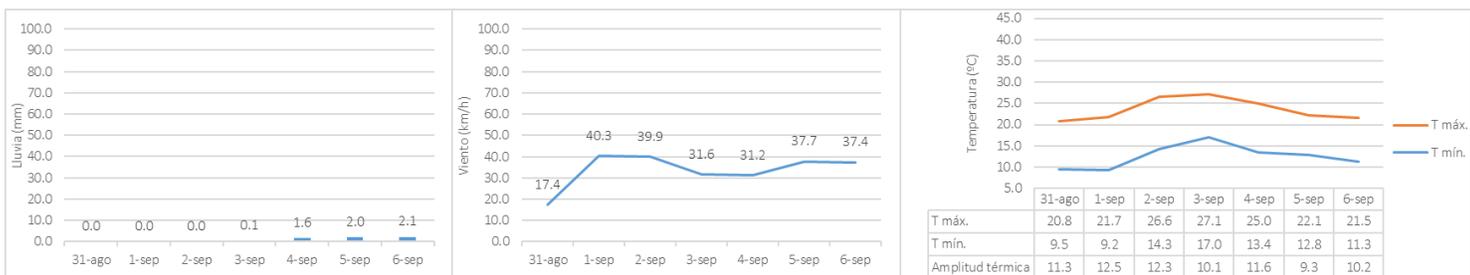


Figura 9. Pronóstico de precipitación (mm), viento (km/h) y temperatura (°C) para el periodo del 31 de agosto al 06 de setiembre en la región cañera Turrialba.

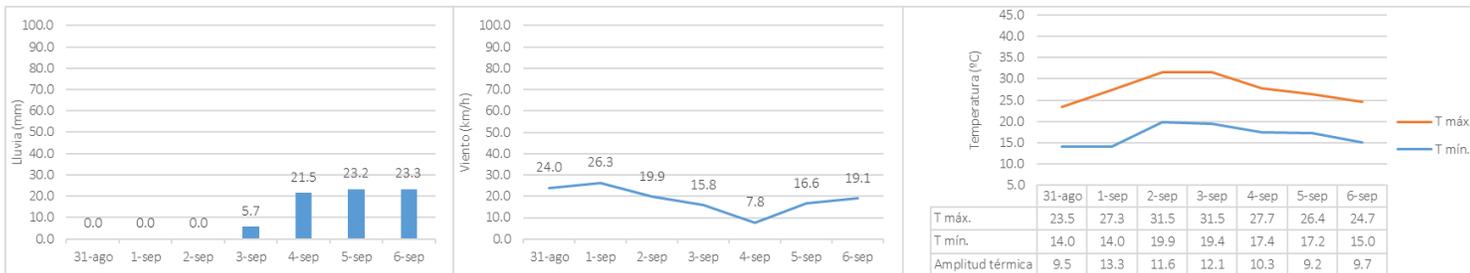


Figura 10. Pronóstico de precipitación (mm), viento (km/h) y temperatura (°C) para el periodo del 31 de agosto al 06 de setiembre en la región cañera Zona Sur.

Agosto 2020 - Volumen 2 – Número 18

## TENDENCIA PARA EL PERIODO DEL 07 DE SETIEMBRE AL 13 DE SETIEMBRE DE 2020

Se prevé una semana levemente más lluviosa de lo normal en la vertiente Pacífico; mientras el Valle Central, Zona Norte y vertiente Caribe presentarán condiciones lluviosas normales.

## 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 31 de agosto del 2020.

La Región de Guanacaste Oeste tiene entre 15% y 90%, la Región Guanacaste Este presenta porcentajes de que varía entre 15% y 100%. La saturación de la Región Puntarenas está entre 15% y 60%; los suelos de la Región Valle Central Oeste presentan entre 30% y 75%, mientras que los de la Región Valle Central Este tienen entre 15% y 30%.

La Región Norte está entre 15% y 90%. 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 30% y 45%. La Región Sur presenta porcentajes de saturación variables, que van desde 0% hasta 100%

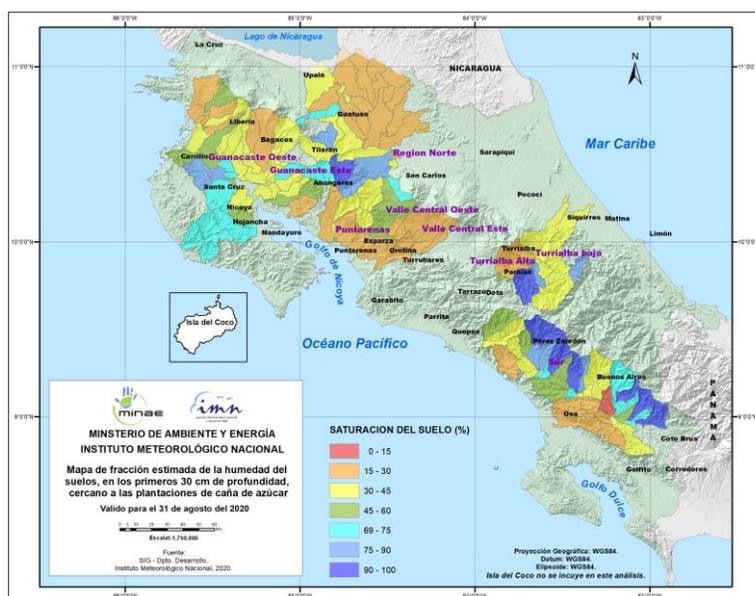


Figura 11. Mapa de fracción estimada de la humedad en porcentaje (%), a 30m de profundidad, cercana a las plantaciones de caña de azúcar, válido para el 31 de agosto del 2020.

## 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.

Por la presencia de polvo proveniente del Sahara que se espera para la presente semana de forma directa, se recomienda tomar las previsiones pertinentes. 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

## ALERTA FITOSANITARIA

## Hormiga loca causa preocupación en el Valle Central

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)

Desde el año 2017 algunas plantaciones comerciales de caña de azúcar ubicadas en el Valle Central han venido sufriendo los efectos provocados por un insecto, para los efectos prácticos nuevo y exótico, cuyo comportamiento resultaba en aquel momento muy particular en virtud de algunas características que lo distinguían y diferenciaban de otros del mismo género. Con los meses el problema se diseminó y amplió territorialmente, trasladándose también a áreas urbanas y zonas no agrícolas donde ha provocado fuerte impacto sobre diversas especies animales, reptiles, aves y mamíferos. El problema que se presenta en el campo es inducido por la presencia de un nuevo tipo de hormiga, que por su dinámica, movilidad y facilidad de desplazamiento se ha hecho llamar “Hormiga loca”, la cual pertenece al género *Nylanderia fulva* anterior *Paratrechina fulva* (Mayr). Se presume con buena aproximación que su origen es amazónico oriundo de Brasil, habiendo sido su presencia reportada también en Colombia, Argentina, Bolivia, Chile, Cuba, República Dominicana, Ecuador, México, Paraguay, Uruguay, Suriname, Guinea Francesa, Granada, Guyana, los EUA y Canadá, entre otros. En el caso de Colombia hay reportes de afectación en caña de azúcar.

## Distribución y afectación regional

Su aparición en el caso de la caña se establece inicialmente en la Finca “La Argentina” de Grecia, afectando una plantación de zacate ornamental. A la fecha, su distribución es amplia con presencia por ahora exclusivamente en el Valle Central, propiamente en los cantones de Grecia, Atenas, Naranjo, San Ramón, Palmare y el Cantón Central de la provincia de Alajuela. La magnitud del problema se ha incrementado en relativamente poco tiempo, afectando diversos cultivos como caña de azúcar, maíz, almácigos de café, cítricos, frijol, ornamentales (viveros), zacate ornamental para venta; así como también infraestructuras urbanas (casas de habitación, bodegas, galerones). Se presume que puede o podría eventualmente estar afectando zonas protegidas y de reserva forestal. En el año 2019 el área de caña de azúcar del Valle Central con presencia de hormiga loca se estimó en aproximadamente 350 ha; actualmente se considera que puede estar afectando más de 1.130 ha. Las localidades con más afectación son Rincón de Salas (145 ha), La Argentina (178,0 ha) y Tacaes (422,0 ha). El problema existente tiene por tanto implicaciones agropecuarias, ecológicas y urbanas, lo que dificulta y justifica su control.

## Identificación

Estas hormigas son muy pequeñas, no son agresivas para el hombre como si ocurre con otras especies del mismo género, aunque son muy competitivas por el acceso a alimento y espacio físico, lo que provoca el desplazamiento de otras especies vertebradas y no vertebradas (figura 1). Se alimentan de insectos, fluidos biológicos de vertebrados y sustancias azucaradas elaboradas por las plantas. Se desarrolla en masas oscuras conformadas por miles de individuos. La especie puede tener varias reinas reproductivas en un mismo nido, lo que favorece y estimula las altas densidades poblacionales. Se conocen a la fecha muy pocos enemigos naturales. Su ciclo de vida se establece entre 23 y 50 días.

## Clima y hormiga

Los elementos del clima, la disponibilidad de agua y alimento intervienen y determinan el ciclo de vida y su arraigo en un determinado entorno ecológico. La hormiga reporta presencia en altitudes muy amplias entre 150-2.600 m.s.n.m y temperaturas entre 13-29°C, siendo más abundante su presencia a 1.500 m.s.n.m y 22°C. Factores como la época del año, sea periodo seco o lluvioso, la cobertura del cultivo (fenología) y del suelo (residuos de cosecha), entre otros, intervienen sobre la fluctuación de las poblaciones de la hormiga. La mayor presencia de hormiga se da al inicio del periodo lluvioso, no siendo favorecidas por las condiciones secas.

## Preocupación

En el caso particular de la caña de azúcar, la afectación que provoca la hormiga es indirecta al establecer un estado de mutualismo con diferentes insectos plaga como la cochinilla harinosa rosada (*Saccharicoccus sacchari*) que perturba principalmente plantas recién germinadas, brotes y tallos desarrollados e industrializables. En dicha relación simbiótica la hormiga aprovecha las sustancias azucaradas producidas por la cochinilla, a cambio de favorecer y proteger su instalación, residencia y crecimiento poblacional. Se ha encontrado también asociado un inconveniente incremento en las poblaciones del áfido gris de la hoja (*Melanaphis sacchari*), especialmente en variedades de baja tolerancia al mismo, como es el caso de la RB 86-7515. El grado de afectación provocado es importante en términos productivos y económicos, ya que por ser un insecto con hábito de alimentación típico de los chupadores, que en su fase de alimentación

requiere filtrar grandes cantidades de savia para sacar una cantidad adecuada de nutrientes, excreta los azúcares sobrantes, produciendo la denominada “ligamaza” sobre la cual se desarrolla el hongo saprofito “fumagina,” que provoca una coloración oscura similar a la ceniza en el área foliar, interviniendo y perturbando la fotosíntesis y con ello la productividad agroindustrial. Estos insectos también provocan manchas cloróticas en las hojas.

A nivel urbano la hormiga provoca serios problemas por afectar otras especies animales domésticas de compañía (perros, gatos, entre otros) y de producción, también al permanecer resguardada en casas de habitación donde inciden sobre los alimentos. Se le califica como una especie invasora que es capaz de transportar en su movilización otros patógenos y vectores, desplazando fauna de vertebrados e invertebrados silvestres.

#### Acciones de control en avance

En atención y respuesta a la oportuna gestión realizada por parte del sector azucarero y bajo la amenaza del creciente problema existente de extenderse a otras regiones del país, los órganos del Estado, representados por: Despacho Ministerial del MAG, Servicio Fitosanitario del Estado (SFE), Servicio Nacional de Salud Animal (SENASA), la Dirección Nacional de Extensión Agropecuaria (DNEA) y el Instituto Nacional de Innovación y Transferencia de Tecnología Agropecuaria (INTA), generaron mediante Resolución N° SENASA-SFE-DG-R001-2020 del 27 de febrero, una declaratoria oficial por medio de la cual se nombra a la hormiga loca como “Plaga de combate particular obligatorio”; para lo cual *“Establecen medidas sanitarias y fitosanitarias de carácter general para combatir y evitar su propagación”*. La Declaratoria opera oficialmente en los cantones de Naranjo, Grecia, Atenas, San Ramón, Palmarejos y el Cantón Central de la Provincia de Alajuela, procurando contener la plaga evitando su diseminación territorial; como también podrá ampliar su vigencia donde sea conveniente y pertinente como medida de prevención o en su caso de control.

Para su implementación, se establecen medidas sanitarias con alcance a varias actividades agro productivas, como: caña de azúcar, almácigo de café, maíz, frijol, cítricos, ornamentales, zacate ornamental para venta, casas de habitación (jardines). Las medidas de control de la declaratoria aplican: a) En aquellos cantones en donde la plaga ha sido detectada y b) En aquellos cantones en donde la plaga no ha sido detectada. Dicha declaratoria fue publicada en el Diario Oficial “La Gaceta Digital” N° 43 del 4 de marzo anterior, por lo cual las medidas técnicas indicadas son de acatamiento y cumplimiento obligatorio para todos.

Establece de manera sucinta y expresa dicha Declaratoria lo siguiente:

1) Los establecimientos dedicados al proceso de la caña de azúcar (ingenios) ubicados en la zona de afectación, deberán limpiar y fumigar los medios de transporte donde se pueda trasladar la hormiga a localidades sin afección. Aplica también para los establecimientos de intercambio comercial o de servicios.

2) Deberá limpiarse y fumigarse la sección inferior (chasis), cabina, el ensamble de las llantas y las carretas de todos los medios de transporte utilizados.

3) La limpieza debe realizarse con un equipo a presión con agua incorporando un dispersante que rompa su tensión superficial para que moje y ahogue la hormiga.

4) La fumigación debe emplear dosis bajas según la naturaleza del producto aplicado, pudiendo usar las siguientes moléculas: Cipermetrina, Permetrina, Piretrina, o una composición de Cipermetrina + Tetrametrina + Butóxido de Piperonilo; como también otras combinaciones viables y recomendadas por profesionales calificados.

5) Otras actividades productivas agropecuarias o no, establecimientos comerciales, de servicios, de esparcimiento e inmuebles de uso humano (hoteles, casas de habitación, entre otros), deberán monitorear terrenos, edificios e instalaciones, debiendo hacer caso de detectarla, empleo de insecticidas o fumigantes de uso común siguiendo las normas técnicas correspondientes indicadas en la etiqueta.

6) Las medidas aplican también para productores y comercializadores de material vegetativo propagativo (semilla, almácigo) que se ubiquen en la zona de afectación de la hormiga y a un radio de 1 kilómetro de los puntos declarados como positivos, asegurando y garantizando que el material se movilizará libre del organismo. Toda persona productora, reproductora y comercializadora de material vegetativo de zonas con presencia de hormiga deberá contar con la inspección del SFE previo a movilizar el material, para verificar presencia o no de hormiga. Dicha inspección debe solicitarse con al menos 3 días hábiles de anticipación.

7) Las instalaciones de las zonas afectadas podrán ser fiscalizadas por funcionarios del Estado (SFE) para verificar su condición y cumplimiento de las recomendaciones establecidas.

8) En caso de incumplir las medidas impuestas, se aplica la denuncia ante los organismos estatales vinculados, mediante denuncia por omisión; pudiendo además restringir el traslado del material implicado hasta tanto se cumpla con lo normado.

Cabe replicar que la declaración de combate obligatorio de la hormiga impone a los propietarios u ocupantes de predios, la obligación de

implementar con recursos propios las medidas técnicas establecidas por los órganos del Estado.

Por otra parte, dicta expresamente la directriz gubernamental en materia sancionatoria, que “En caso de no cumplimiento de las disposiciones de esta medida por parte del productor o empresa, el Servicio Fitosanitario del Estado coordinará con las autoridades judiciales pertinentes con el fin de proceder con las sanciones estipuladas en la Ley 7664 de Protección Fitosanitaria según el CAPÍTULO VIII De las disposiciones penales, así como lo establecido en el Decreto 26921-MAG (Reglamento a la Ley de Protección Fitosanitaria).”

Se busca fundamentalmente con dichas medidas, evitar el traslado de la hormiga a otras regiones agrícolas y urbanas del país donde actualmente no está presente, evitando acceder a los problemas fitosanitarios derivados, que en el caso de la caña de azúcar tienen impactos productivos y económicos fuertes que se pueden tornar luego difíciles de mantener. El costo económico de las aplicaciones de plaguicidas representa un costo más para la difícil situación que atraviesan los agricultores.

Cabe destacar que actualmente se realizan acciones interinstitucionales coordinadas a través de una Comisión con representación ampliada liderada por el SFE, que opera sobre acciones integradas de supervisión, control e investigación buscando atender y resolver el problema con la importancia y prioridad que merece. El equipo de investigación de DIECA viene desarrollando medidas estratégicas de control mediante muestreo y valoración de poblaciones, control biológico, uso de cebos formulados con diversos materiales inertes e ingredientes activos y también la opción química.

#### Literatura

Chaves Solera, M.A. 2020. *Medidas fitosanitarias para contrarrestar el traslado de hormiga loca entre zonas infestadas y zonas libres de su presencia*. Revista Entre Cañeros N° 14. Revista del Departamento de Investigación y Extensión de la Caña de Azúcar (DIECA). San José, Costa Rica, marzo. p: 20-29.

Salazar Blanco, J.D.; Cadet Piedra, E.; Oviedo Alfaro, R. 2018. *Presencia de hormiga loca Nylandería fulva (Hymenoptera: Formicidae) en plantaciones de caña de azúcar en el Valle Central*. Revista Entre Cañeros N° 10. Revista del Departamento de Investigación y Extensión de la Caña de Azúcar (DIECA). San José, Costa Rica, julio. p: 26-33.

Salazar Blanco, J.D.; Cadet Piedra, E.; Oviedo Alfaro, R.; Bolaños Porras, J.; Rodríguez Morales, A. 2020. *Acciones realizadas en el sector azucarero para el manejo y combate de la hormiga loca Nylandería fulva (Hymenoptera: Formicidae) y propuesta de un Plan de Investigación Interinstitucional para su manejo y combate*. Grecia, Costa Rica. LAICA-DIECA, julio. 22 p.

**Figura 1.** Hormiga loca (*Nylandería fulva*).



**Fuente:** Salazar et al. (2018 y 2020).

## NOTA TÉCNICA

## Clima, acidez del suelo y productividad agroindustrial de la caña de azúcar en Costa Rica

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)

Uno de los conceptos más difundidos, comentados y destacados desde tiempos antiguos en la agricultura, sobre todo y particularmente la desarrollada en las zonas húmedas tropicales y subtropicales, es el concerniente al vinculado al de la “acidez del suelo”. Cabe señalar en primera instancia, que la acidez es un indicador de uso muy amplio en el agro pues participa y utiliza en el suelo, los agroquímicos, la fertilización, el control de malezas, el empleo de madurantes, fungicidas, plaguicidas, hormonas, etc. El término es tan utilizado, muchas veces de manera indiscriminada y coloquial, que se desnaturaliza y torna hasta poco comprensible en su significado físico-químico, microbiológico y agro-productivo real. Todos, sean agricultores, técnicos o profesionales, hablan de la acidez del suelo con simpleza y determinación como algo natural y fácil de entender en su significado e implicaciones, por lo que cabe entonces preguntarse ¿Es realmente el concepto algo tan simple? ¿Se emplea correctamente? ¿Puede entenderse su origen, manejo e implicaciones apenas con interpretaciones genéricas y simplistas? Es obvio que la respuesta es un contundente no, pues por el contrario, los alcances e implicaciones del concepto son complejos por intervenir principios, mecanismos y reacciones asociadas con la química, la física, la biología y el clima, entre otros.

Tampoco se trata ni pretende lograr un entendimiento completo y absoluto del concepto, pues lo que realmente importa para fines prácticos es entender los principios básicos generales vinculados con su implicación agrícola. Procurando contribuir con esa comprensión, seguidamente se exponen algunos elementos básicos que permitirán revelar las estrechas relaciones que existen entre la acidez, en este caso del suelo, y el desempeño de la agricultura cañera en un ámbito de alta productividad agroindustrial, rentabilidad y competitividad.

#### Acidez y degradación de suelos

Como se ha comentado y enfatizado en ocasiones anteriores, uno de los problemas más serios y limitantes que atraviesa actualmente la agricultura de la caña de azúcar en Costa Rica, con mayor énfasis en algunas regiones, es el concerniente a la degradación de los suelos, en consideración de que constituye un proceso degenerativo que peligrosa y sistemáticamente se ha venido agravando con el tiempo, favorecido en grado significativo por la sobreexplotación y el manejo inconveniente que complementariamente se le presta a los mismos,

induciendo y creando un desbalance general que se manifiesta y expresa en bajas productividades y rentabilidades. Esta realidad ha sido abordada y señalada bajo diferentes enfoques como causa de muchos de los problemas y limitantes que se observan en el campo, como lo declara Chaves (2020b) al manifestar, que “*En la caña de azúcar es una realidad que en Costa Rica la pérdida de potencial productivo de los suelos viene sucediendo y afectando, aunque algunos no quieran reconocerlo, lo cual se visualiza en la pérdida sistemática de productividad agrícola y acortamiento de la vida comercial utilitaria de las plantaciones, principalmente, y el aumento complementario de los costos asociados vinculados a gastos que buscan restituirla por medio del uso de insumos e intensificación del laboreo. El problema es serio y muy real y no imaginario, mediático o coyuntural.*”

La acidez del suelo asociada a otros factores naturales y antropogénicos como son la erosión, la compactación, salinización, pérdida de materia orgánica, contaminación y la denominada artificialización (referida a la ocupación urbana, infraestructura y equipamiento, que provoca la impermeabilización y “sellado del suelo”), son los factores que mayoritariamente contribuyen al desgaste, empobrecimiento sistemático y acelerado del mismo (Chaves, 2020b).

Asegura Chaves (1999a), que “*Los suelos ácidos representan una clase especial cuyas propiedades son por lo general limitantes para el desarrollo de una agricultura competitiva y rentable, ya que generan bajas productividades y altos costos de producción.*”

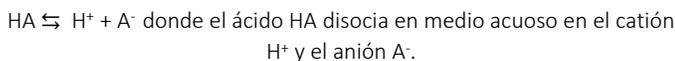
#### Acidez ¿Qué es y qué significa?

Pese a ese conocimiento empírico y coloquial que se tiene en nuestro medio de la acidez del suelo, es absolutamente necesario conocer algunos de los indicadores básicos implicados, y principalmente, interpretarlos y utilizarlos adecuada y correctamente cuando se pretende corregir y/o mitigar sus efectos directos e indirectos como factores que inciden y limitan severamente la producción agrícola. En este sentido, los principios fundamentales de la acidez pueden ser, como por lo general ocurre, considerados y valorados en términos independientes y aislados, lo que es erróneo estimando las interrelaciones que existen con otros elementos y factores, como son: tipo de arcilla presente, textura y densidad aparente, contenido y tipo

de materia orgánica, Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC), Capacidad de Intercambio Catiónico Efectiva (CICE), Saturación (%) de Bases, presencia y concentración de elementos químicos esenciales, Saturación (%) de Acidez, contenido de humedad del medio, tipo de acidez (activa, intercambiable, no intercambiable, potencial o total), solo para citar algunos. Como se infiere, una interpretación correcta de la condición de acidez de un suelo no resulta fácil ni sencilla de establecer; más se complica el tema cuando se asocia con su corrección, donde interviene la estimación de la Necesidad de Cal (NC) y la materia concerniente a la diversidad de fuentes comerciales disponibles virtud de sus diferentes mecanismos de acción y residualidad.

En el concepto de la acidez deben inevitablemente incorporarse para su correcto entendimiento las nociones químicas de ácido y base, pues de lo contrario su interpretación será incompleta y más difícil. Siendo así, se tiene que un ácido es una sustancia capaz de ceder protones (Hidronio =  $H^+$ ) y una base la que puede potencialmente recibirlos ( $OH^-$ ), lo cual establece reacciones en el suelo que vienen influenciadas por numerosos factores que las originan y dinamizan, entre ellos el clima y la humedad por ser el medio donde ocurren los eventos. Se considera que el de ácido es suficiente para explicar e ilustrar las ideas relacionadas con la acidez de los suelos. En esas reacciones del suelo hay presencia de ácidos y bases calificadas químicamente como fuertes y débiles que definen la dinámica del proceso.

Los ácidos son sustancias que en solución acuosa liberan iones  $H^+$  de acuerdo con la siguiente reacción:



En este caso se tiene que los ácidos fuertes se disocian completamente y los ácidos débiles, condición que se aproxima mucho a la condición de los suelos, lo hacen en menor grado lo que favorece concentraciones más bajas de  $H^+$  que hacen que su representación numérica sea difícil de expresar por la cantidad de decimales implicados. Fue así como se introdujo y empleó el concepto de pH para poder representar y explicar la concentración de  $H^+$  en el medio. Solo con el objeto de representar esa relación se presenta seguidamente la expresión:

$$pH = -\log (H^+) = \log 1/(H^+).$$

A partir de esa expresión en una concentración de 0,000001 molar o  $10^{-6}$  M de  $H^+$  se tiene que el valor de pH será de 6. El suelo es una mezcla de ácido-base. La actividad del ion  $H^+$  que se da en la solución del suelo, donde convergen e interactúan los elementos del sistema suelo: agua: planta. Dicha actividad es referida y establecida por lo general en términos de valores de pH que mide la actividad del ion  $H^+$ .

Es por ello que la acidez es referida, medida e interpretada por medio del valor de pH presente en el medio suelo. Su medición se hace por medio de dos electrodos (uno sensible a iones  $H^+$  y otro de referencia-calomel), que miden la diferencia de potencial generada entre ambos. En realidad en este tema lo correcto es referirse genéricamente a la "reacción del suelo" que es una propiedad de la solución del mismo, que está condicionada y determinada por la concentración de iones hidronio ( $H^+$ ) e iones hidroxilo ( $OH^-$ ), cuya proporción determina el grado de acidez o alcalinidad presente. Una reacción es ácida si la concentración de iones  $H^+$  en el medio acuoso es mayor, o en su caso alcalina, si predominan los  $OH^-$ . La neutralidad se alcanza cuando la concentración de iones  $H^+$  es igual a los  $OH^-$  ( $pH=7$ ).

Sin querer complicar más la explicación, podemos entonces concebir la acidez como una condición del suelo donde dependiendo del valor de pH presente como referente directo del grado de acidez presente, pueden potencialmente ocurrir o estarse dando reacciones que afectan las plantas cultivadas en esa condición, cuyos efectos y consecuencias pueden ser positivas o negativas.

El pH se mide e interpreta en la práctica en una escala que va de 0 a 14 unidades, siendo obviamente 7 el valor de neutralidad. Los valores de pH menores de 7 son considerados como ácidos y los superiores básicos o alcalinos, con grados variables conforme se acerquen o alejen del punto neutral. El concepto de valor numérico es de muy amplio uso en la interpretación del grado de acidez prevaletante en un medio, sea suelo, solución de herbicidas, plaguicidas, fungicidas o cualquier otra; lo que es al final de cuentas lo que los agricultores utilizan en su dialéctica cuando hacen uso del término.

#### Componentes de la acidez del suelo

Por razones de comodidad y facilidad en la interpretación del concepto, la acidez del suelo puede ser desagregada para su mejor comprensión en acidez activa y acidez potencial, la cual se divide a su vez en intercambiable y no intercambiable. Se denomina *acidez activa* la que posee parte del  $H^+$  disociada (separada) en la solución del suelo y se expresa en valores de pH. Hay que considerar sin embargo, que la mayor parte del  $H^+$  no está disociado. Cuanto más elevada sea este tipo mayor concentración de  $H^+$  se tendrá en el medio, más alta será la acidez y más bajo será consecuentemente el valor de pH. La *acidez intercambiable o de reserva* se refiere a los iones  $H^+$  y  $Al^{3+}$  que están retenidos (adsorbidos) en la superficie de los coloides por fuerzas electrostáticas (cargas eléctricas en equilibrio y reposo cuyos efectos aparecen en forma de atracciones y repulsiones). La cantidad de  $H^+$  intercambiable en condiciones naturales parece ser también relativamente pequeña. Por su parte, la *acidez no intercambiable* es representada por el  $H^+$  en enlace covalente (dos átomos no metálicos comparten uno o más electrones), asociado a los coloides con carga

negativa variable y a los compuestos de aluminio. La *acidez potencial* corresponde por su parte a la suma de la acidez intercambiable y no intercambiable del suelo, representada por la suma de ( $H^+$  +  $Al^{3+}$ ), la cual constituye para efectos prácticos, la de mayor interés del productor agrícola por procurar corregir, puesto que es la que más perjuicio y daño provoca al crecimiento normal de las plantas. Algunos autores introducen adicionalmente la denominada *Acidez Fisiológica*, la cual es provocada por el uso de fertilizantes nitrogenados como Sulfato de Amonio, Nitrato de Amonio, Urea y Fosfatos de Amonio, entre otros; la medida de esa acidez se da en los kilogramos de calcáreo que es necesario adicionar para poder contrarrestarla. El cuadro 1 muestra un resumen de los conceptos anteriores:

**Cuadro 1.** Tipos de acidez presentes en el suelo.

Acidez	Características
Activa	$H^+$ de la solución del suelo
Intercambiable	$Al^{3+}$ intercambiable + $H^+$ intercambiable
No Intercambiable	$H^+$ de enlace covalente
Potencial	$Al^{3+}$ intercambiable + $H^+$ intercambiable + $H^+$ de enlace covalente
Fisiológica	Provocada por fertilizantes nitrogenados

Como se concluye con base en lo anotado, el tema de la acidez es profundo y muy complejo pues incorpora y vincula numerosos procesos físico-químicos y microbiológicos que ocurren de manera constante y muy dinámica en el suelo; pese a lo cual, puede aseverarse con sentido pragmático, que al productor agrícola le interesa apenas para sus fines e intereses inmediatos, comprender que implicaciones tienen los diferentes valores de pH en las prácticas de campo que realiza.

#### Significado y consecuencias de la acidez y el índice de pH

Tal como se ha anotado y explicado previamente, el valor de pH es apenas un indicador que mide, refiere y categoriza el grado de acidez del suelo, tal como sucede por ejemplo con la medición de la temperatura ( $^{\circ}C$ ), la humedad (%), la presión, entre otros muchos ejemplos afines. La interpretación del pH debe ser muy juiciosa y sensata pues conlleva valores intermedios y extremos que generan contextos y efectos muy diferentes; la referencia debe ir orientada sobre el valor neutral ( $pH = 7$ ). El valor de pH es muy útil cuando se realizan diagnósticos generales de la condición nutricional de un suelo, ya que puede estimarse el estado y comportamiento de los nutrimentos contenidos en el mismo. En el cuadro 2 se anotan algunos efectos y consecuencias asociadas al pH aplicado al suelo.

Como se aprecia al disminuir el valor de pH se incrementan las concentraciones y la solubilidad de elementos tóxicos para las raíces de las plantas, como ocurre principalmente con el Al, Fe, Mn y Cu;

adicionalmente se limita la disponibilidad del P y algunos elementos menores como el Mo. Es común encontrar serios y preocupantes desbalances iónicos, particularmente catiónicos.

**Cuadro 2.** Implicaciones nutricionales de la acidez de un suelo.

Actividad	Índice de pH	
	< 7	> 7
Contenidos de Ca y Mg (Calcio y Magnesio)	Bajos	Altos
Saturación por Al (Aluminio)	Alta	Baja
Saturación por Mn (Manganeso)	Alta	Baja
Saturación por Fe (Hierro)	Alta	Baja
Saturación por Cu (Cobre)	Alta	Baja
Saturación por Na (Sodio)	Baja	Alta
Fijación de P (Fósforo)	Alta	Baja
Aprovechamiento del N (Nitrógeno)	Baja	Baja
Disponibilidad de P (Fósforo)	Baja	Mayor
Disponibilidad de K (Potasio)	Baja	Alta
Disponibilidad de S (Azufre)	Baja	Alta
Disponibilidad de Zn (Cinc)	Alta	Baja
Disponibilidad de B (Boro)	Menor	Mayor
Disponibilidad de Mo y Cl (Molibdeno y Cloro)	Menor	Mayor
Presencia de desbalances iónicos	Alta	Baja
Actividad de microorganismos	Menor	Mayor
Aprovechamiento de fertilizantes	Menor	Mayor
Actividad y desarrollo de raíces	Menor	Mayor

*Nota:* las apreciaciones de actividad son extremas pues hay grados intermedios de disponibilidad y concentración en todos los casos.

Señalan Méndez y Bertsch (2012) como elemento importante para interpretación, que *“El nivel crítico establecido para el pH (en agua) en los suelos es de 5,5 debido al incremento en la solubilización de  $Al^{3+}$  que se produce por debajo de ese valor, el cual causa daños directos por toxicidad a las raíces y propicia la pérdida de las bases intercambiables por lixiviación. La dinámica microbiológica del suelo también se ve afectada por valores bajos de pH, por ejemplo, las bacterias nitrificantes (que convierten amonio a nitrato) y las bacterias fijadoras de N en leguminosas, ven afectada de manera negativa su actividad en medios ácidos.”*

Como criterio de juzgamiento agrícola el valor de pH de 5,5 es muy importante tenerlo presente pues marca el límite para ubicar cuando se tienen o no problemas con la acidez del suelo; pues como se indicó, por debajo de ese índice algunos elementos se solubilizan y tornan tóxicos para las raíces de las plantas, como sucede con el Al, Fe, Mn y Cu. De manera complementaria, esa misma condición provoca que otros nutrimentos esenciales como el P y el B se vuelvan indisponibles para las plantas generando su deficiencia. Sobre este criterio es necesario señalar que es posible encontrar en condiciones especiales valores de  $pH < 5,5$  cuya afectación y toxicidad por  $Al^{3+}$  no existe; lo

cuál se da cuando los contenidos de materia orgánica son altos y ocurre la disociación de los grupos carboxilo ligados (-COOH), lo que no afecta las raíces excepto cuando el pH es menor de 4 y la presencia de H<sup>+</sup> alta.

Como es comprensible resulta temerario pretender interpretar la condición de un suelo haciendo uso solo del indicador pH, el cual pese a su valor resulta insuficiente, pues solo mide la concentración de iones H<sup>+</sup>. Para lograr inferencias y conclusiones más apropiadas y ajustadas a la realidad, existen otros cuatro indicadores, además del pH, que operando de manera integral si permiten llegar a determinar el estado y las posibles causas que originan el problema de acidez; entre las cuales están: 1) Acidez intercambiable: que mide las concentraciones de Al<sup>3+</sup> y H<sup>+</sup> y que como se infiere va directamente vinculada a la concentración de Aluminio; 2) Suma de bases intercambiables: correspondiente a la integración conjunta de Ca+Mg+K+Na, 3) Capacidad de Intercambio de Cationes Efectiva

(CICE): que adiciona a la suma de bases el valor de la acidez intercambiable (Ca+Mg+K+Na+Al+H) incorporando un criterio de valoración más amplio y 4) Porcentaje de Saturación de Acidez: el cual relaciona la proporción de los iones H<sup>+</sup> + Al<sup>3+</sup> que ocupan posiciones de intercambio en la micela del suelo en relación a todos los cationes intercambiables presentes. En su interpretación se adoptan como criterios cuantitativos en cada caso, respectivamente, los siguientes valores: 1) valores superiores a 0,5 cmol(+)/l pueden ser perjudiciales, 2) índices integrados inferiores a 5 cmol(+)/l califican como limitantes, 3) valores menores de 5 cmol(+)/l son problemáticos y 4) se estima que porcentajes >60% pueden afectar el crecimiento ya que se asocian a concentraciones de Al mayores a 1 ppm en la solución del suelo. En el cuadro 3 se anotan los resultados de una interesante valoración química realizada por Méndez y Bertsch (2012), orientada a determinar la condición de acidez de los suelos de 30 cantones donde se cultiva caña de azúcar en Costa Rica.

**Cuadro 3.** Caracterización química de los suelos de 30 cantones cañeros de Costa Rica respecto a su condición de acidez.

Provincia / Cantón	pH			Acidez (Al <sup>3+</sup> + H <sup>+</sup> )			Suma Cationes			CICE			Saturación Acidez			
	Bajo	Medio	Alto	Bajo	Medio	Alto	Bajo	Medio	Alto	Bajo	Medio	Alto	Bajo	Medio	Alto	
	< 5,5	5,5 - 6,5	> 6,5	≤ 0,5	0,5 - 1,5	> 1,5	≤ 5	5 - 25	> 25	≤ 5	5 - 25	> 25	≤ 10	10 - 50	> 50	
Unidades			cmol(+)/l			cmol(+)/l			cmol(+)/l			%				
<b>GUANACASTE</b>																
Liberia	48	50	2	79	16	4	11	75	14	6	80	14	89	9	2	
Carrillo	2	70	28	99	1	0	0	40	60	0	40	60	100	0	0	
Cañas	2	59	39	98	1	0	0	40	60	0	39	60	100	0	0	
Abangares	6	63	31	88	8	4	0	54	46	0	54	46	96	4	0	
Bagaces	9	75	16	98	2	0	1	63	36	1	63	36	100	0	0	
Santa Cruz	4	45	51	96	4	0	3	34	64	3	34	64	100	0	0	
Nicoya	15	54	31	96	2	2	0	15	85	0	15	85	99	1	0	
<b>ALAJUELA</b>																
Alajuela	34	56	10	73	20	7	18	80	1	12	86	1	79	18	3	
San Carlos	74	24	1	52	29	19	33	65	2	22	76	2	61	31	8	
Los Chiles	74	26	0	76	21	3	20	80	0	11	89	0	83	17	1	
Atenas	85	12	2	37	27	37	10	68	22	2	76	22	59	34	7	
Grecia	89	9	2	19	31	50	70	26	4	47	49	4	22	45	33	
Naranjo	86	14	1	29	45	26	42	57	1	22	77	1	38	54	7	
Poas	75	23	2	51	37	12	42	58	0	30	70	0	55	39	6	
Valverde Vega	71	29	0	53	47	0	16	84	0	12	88	0	73	27	0	
San Mateo	73	25	2	46	40	15	15	79	6	8	85	6	71	27	2	
Palmares	78	20	2	42	15	42	15	73	11	2	86	12	53	38	9	
San Ramón	81	19	0	53	32	15	30	69	1	21	78	1	58	35	7	
<b>CARTAGO</b>																
Turrialba	72	25	2	41	36	23	29	68	3	20	77	3	54	39	7	
Jiménez	75	25	0	41	39	20	35	65	0	22	78	0	53	44	3	
Paraíso	60	27	13	50	17	33	14	83	3	4	93	3	60	32	8	
Alvarado	46	53	2	73	25	2	36	64	0	30	69	0	74	26	0	
Oreamuno	42	54	4	77	22	2	24	75	1	20	79	1	80	20	0	
<b>PUNTARENAS</b>																
Puntarenas	22	50	28	90	10	0	3	29	67	2	30	68	97	3	0	
España	23	67	10	83	10	7	17	23	60	17	23	60	87	13	0	
Montes Oro	42	58	0	81	17	2	23	60	17	23	60	17	77	23	0	
Buenos Aires	60	36	4	57	29	14	13	63	23	7	69	24	78	15	6	
<b>SAN JOSÉ</b>																
Pérez Zeledón	72	26	1	38	39	23	50	33	17	38	43	19	46	37	17	
Puriscal	86	13	1	41	25	35	9	59	32	4	59	36	59	38	3	
<b>HEREDIA</b>																
Santa Bárbara	42	46	12	73	22	5	22	76	2	16	82	2	74	25	1	

Méndez y Bertsch (2012)

CICE = Capacidad Intercambio Catiónico Efectiva

### Causas de la acidez

Como principio general es importante anotar que los suelos pueden ser naturalmente ácidos por la naturaleza de los materiales (minerales) de origen, la incidencia de elementos del clima o también “inducidos y creados” por causa del manejo que el agricultor preste a su plantación, lo que lo ubica en el ámbito antropogénico.

De acuerdo con Chaves (2020b), *“La acidificación del suelo es un proceso muy dinámico en el cual intervienen factores de índole natural (edáficos, climáticos y biológicos), como también antropogénicos (provocados por la actividad humana), que inducen la disminución del pH del suelo como consecuencia de la acumulación de iones de hidrógeno ( $H^+$ ), hierro ( $Fe^{+3}$ ) y aluminio ( $Al^{+3}$ ); y de forma adicional y complementaria, la pérdida de cationes básicos del suelo como calcio ( $Ca^{+2}$ ), magnesio ( $Mg^{+2}$ ), potasio ( $K^+$ ) y sodio ( $Na^+$ ), entre otros. Es una carga desproporcionada de iones de hidrógeno, en detrimento de los cationes minerales presentes en el medio (Chaves 1999b, 2017a).”*

La acidificación progresiva de los suelos ocurre principalmente en zonas tropicales húmedas como la nuestra, donde se práctica además una agricultura intensiva que implica un uso acelerado de los recursos disponibles, muchas veces limitados; entre ellos los vinculados con la fertilidad. Cultivos como la caña de azúcar son altamente extractores de nutrientes del suelo especialmente las bases cambiables ( $Ca+Mg+K$  y  $Na$ ), lo cual provoca si no se da una restitución apropiada, oportuna y equilibrada de los mismos, su pérdida neta en el sistema, lo que induce a su reemplazo por iones  $H^+$  y  $Al^{3+}$ , entre otros, creando una condición ácida (Alfaro y Chaves, 1999). Dicha pérdida y sustitución es favorecida principalmente por tres factores: a) lixiviación y percolación del agua en el perfil del suelo, b) extracción de cationes por las raíces del cultivo y c) empleo de fertilizantes de contenido ácido.

Esa condición puede mitigarse y contrarrestarse en grado variable dejando en el campo los residuos vegetales remanentes accionándolos como cobertura superficial, aplicando también correctivos de acidez mediante encalamiento, y por medio del empleo óptimo, oportuno y prudente de fertilizantes y abonos convenientes. Pese a los esfuerzos realizados, por lo general el balance final se torna negativo y la acidificación sistemática se convierte en una realidad del campo con las consecuencias indeseables del caso.

Pueden señalarse algunas condiciones y prácticas de manejo como inductoras y favorecedoras de la acidificación de un suelo, entre las que están entre otras las siguientes:

- Uso de terrenos con características y propiedades naturalmente ácidas.
- Desarrollo de proyectos agro-productivos con plantas altamente extractoras de nutrientes del suelo y relativamente sensibles a la acidez, que llegan con el tiempo a agotar las existencias de

elementos esenciales. La caña es un cultivo muy extractor, agotador y medianamente sensible a la acidez.

- Carencia de programas nutricionales adecuados y visionarios que incorpore criterios específicos y precisos (fertilización por sitio) y no apenas genéricos sin contemplar diferencias y excepciones.
- No corrección mediante encalamiento de los suelos propensos a alcanzar esa condición.
- Programas de fertilización comercial nutricionalmente desbalanceados e insuficientes para satisfacer necesidades. Es común encontrar que la fertilización se concentra apenas en la adición continuada de uno o dos nutrientes obviando los demás.
- Uso continuo de fertilizantes con efecto residual ácido, como sucede con los nitrogenados amoniacales como el Sulfato de Amonio ( $NH_4SO_4$ ), Nitrate de Amonio ( $NH_4NO_3$ ), Urea ( $CH_4N_2O$ ) y Fosfatos de Amonio ( $(NH_4)_2H_2PO_4$ ). Los fertilizantes a base de Amonio ( $NH_4^+$ ) reaccionan en el suelo en un proceso llamado Nitrificación para formar Nitrate ( $NO_3^-$ ), y en el proceso se produce la liberación de iones  $H^+$  generadores de acidez (Chaves 1999b).
- Explotación intensiva del suelo sin adopción e implementación de medidas complementarias compensatorias como es la incorporación de nutrientes mediante fertilizantes, abonos, coberturas vegetales, materia orgánica, etc.
- Pérdida de la capa arable superficial del suelo por erosión y ausencia de prácticas de conservación, que exponen las raíces a horizontes más ácidos (Chaves 2020e).
- Labranza deficiente del suelo para la siembra y el mantenimiento de la plantación, por irrespeto de principios básicos y elementales que se deben inexcusablemente tomar en cuenta, como es el caso del grado de pendiente, el espesor de la capa arable, el grado de afinamiento deseado, volcamiento del prisma del suelo, profundidad de trabajo, grado de humedad, entre otras.
- La actividad promovida por las raíces de las plantas también participa en el proceso pues como se sabe, ellas absorben los nutrientes en forma iónica ( $NO_3^-$ ,  $NH_4^+$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $K^+$ ,  $H_2PO_4^-$ , etc.), y, por lo general, requieren y hacen uso de más cationes que aniones. Sin embargo, acontece que las plantas deben mantener una carga neutra en sus raíces. Procurando compensar el adicional positivo, se harán disponibles iones  $H^+$  procedentes de la raíz. Algunas plantas tienen la propiedad de exudar ácidos orgánicos en el suelo con el objeto de acidificar la zona alrededor de sus raíces (Rizosfera) para solubilizar los nutrientes metálicos que son insolubles a pH neutro, como es el caso del Fe.

### Caracterización y tipificación de un suelo ácido

Caracterizar como ácido un suelo implica necesariamente identificar indicadores que inequívocamente permiten tipificar esa condición, como son entre otros los siguientes, los cuales pueden encontrarse en grado variable:

- Valores de pH inferiores a 7 con tendencia a bajar con el tiempo y tornarse problemáticos debajo de 5,5.
- Contenidos bajos de Bases Intercambiables en el suelo (condición Dystrofica) representadas por Ca, Mg, K y Na que producen deficiencias que se manifiestan en los tejidos de la planta y consecuentemente en los índices de productividad.
- La Suma de Bases Catiónicas (Ca + Mg + K + Na) es baja ( $\leq 5$  cmol(+)/l).
- Se presentan concentraciones elevadas de elementos tóxicos y destructivos para las raíces de las plantas como son Al, Fe, Mn y Cu, los cuales se tornan solubles en esa condición (figura 1).
- La Acidez Intercambiable ( $H^+ + Al^{+3}$ ) es alta ( $> 1,5$  cmol(+)/l).
- Se establece un estado de alta Saturación por Aluminio en el medio ( $> 60\%$ ).
- La Capacidad de Intercambio Catiónico Efectiva (CICE) es alta favorecida e inducida por la Acidez Intercambiable ( $> 25$  cmol(+)/l) y no necesariamente por las bases catiónicas presentes.
- La Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) es reducida, limitando con ello la adsorción y retención de nutrimentos esenciales en el suelo, lo que favorece la pérdida y reduce el efecto residual de los fertilizantes en el tiempo.
- El desbalance entre cationes es elevado, afectando sus relaciones (Ca/Mg, Ca/K, Mg/K, Ca+Mg/K) en el suelo y los tejidos. Entre aniones se da algo similar (Chaves 1988, 1999b; Chaves *et al* 1991).
- El suelo presenta una alta Fijación de P que torna indisponible el elemento aunque se incorpore al suelo.
- La disponibilidad de S se reduce significativamente favoreciendo su deficiencia.
- Se genera indisponibilidad de algunos elementos menores como B y Mo.
- La actividad biológica y microbiológica del suelo es interferida y reducida.
- La Mineralización de la Materia Orgánica se ve fuertemente reducida (Chaves, 2020b).
- Consecuencia de lo anterior la agregación y la compactación se ven intervenidas, limitando la primera y favoreciendo la segunda (Chaves, 2017b y 2019c).
- El desarrollo, profundización y movilización del sistema radical por el perfil del suelo se ve severamente afectado por presencia de sustancias tóxicas (Chaves, 2020c).
- Motivado por lo anterior las plantas ubicadas en suelos ácidos están sujetas a sufrir estrés por condiciones secas.
- Los procesos de germinación, ahijamiento, brotamiento, retoñamiento y crecimiento de las plantas de caña de azúcar se ven impedidos o retardados con efectos graves sobre la productividad agroindustrial de la plantación (Chaves, 2020d).

Es importante reiterar que la acidificación de un suelo es un proceso complejo, multifactorial y que opera de manera diferenciada y

progresiva, lo cual implica grados variables en la intensidad y magnitud de los factores y elementos que la provocan. No caben por tanto en su interpretación los efectos individuales y absolutos.

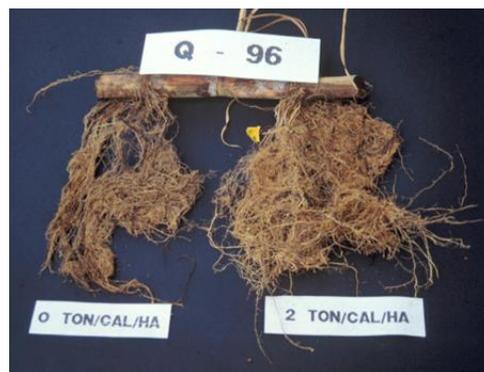


Figura 1. Efecto de la acidez sobre el sistema radical de la caña.

#### Importancia e implicaciones de la acidez en el suelo

La acidez del suelo medida e interpretada por medio del pH constituye un factor muy importante aunque parcial, en la determinación de la solubilidad de los nutrimentos que están en estado de equilibrio dinámico con la fase sólida. Se estima que en Costa Rica la condición ácida de los suelos agrícolas ocupa entre un 20-25%, lo que denota su importancia (Mendez y Bertsch, 2012). Lo más grave es que la tendencia observada corre hacia su incremento en algunas zonas inducido por el mal manejo de los mismos. Como todo, la sensibilidad a la acidez es relativa y depende mucho del tipo de cultivo y/o variedad involucrada, siendo algunos muy tolerantes como es el caso de la yuca, piña, cítricos, café y la misma caña de azúcar; otras plantas en cambio son muy sensibles como acontece con la soya, el té y algunas hortalizas. La variedad de caña empleada puede presentar algún grado de selectividad y tolerancia a las modificaciones que pueda presentar el pH y el grado de acidez del suelo (figura 2), lo cual viene promovido y determinado por su constitución genética y ventajas anatómicas y fisiológicas que posee la planta de caña, como fuera señalado y documentado por Chaves (2020a). Es conocido que existen clones cuyo nivel de tolerancia, rusticidad y adaptación a suelos ácidos es manifiesta (Chaves, 2018).



Figura 2. Plantación con aplicación de cal.

La solubilidad de los hidróxidos de Fe y Al dependen directamente del pH. El catión  $H^+$  compite directamente con nutrientes como Cu y Zn por sitios de intercambio, motivo por el cual sus concentraciones aumentan o disminuyen según sea el valor del pH. Acontece que la concentración de  $H^+$  medido por el valor de pH existente en el medio determina de manera importante la magnitud de la carga iónica intercambiable presente.

### ¿Dónde están los problemas?

Los suelos ácidos se distribuyen por buena parte de la geografía de Costa Rica, donde la agricultura ocupa un espacio relevante como actividad comercial, muchas de las cuales poseen áreas importantes sembradas comercialmente con caña de azúcar. En términos provinciales se ubican suelos de características ácidas, medidos e interpretados con base en su Porcentaje de Saturación de Acidez (SA), de los cuales se anotan seguidamente para 30 cantones cañeros con predominancia relativa de esta característica, los siguientes: San José (630 muestras): Pérez Zeledón (54% de los suelos) y Puriscal (41%); Alajuela (4.869 muestras): Grecia (78%), Naranjo (61%), Palmares (47%), Poas (45%), San Ramón (42%), Atenas (41%), San Carlos (39%), San Mateo (29%), Valverde Vega (27%), Alajuela (21%) y Los Chiles (18%); Cartago (3.744 muestras): Jiménez (47%), Turrialba (46%), Paraíso (40%), Alvarado (26%) y Oreamuno (20%); Heredia (104 muestras): Santa Bárbara (26%); Puntarenas (628 muestras): Montes de Oro (23%), Buenos Aires (21%), Esparza (13%) y Puntarenas (3%). Sobresale el hecho de que en la provincia de Guanacaste (3.363 muestras) predominan por el contrario suelos de condiciones más cercanas a la neutralidad y la alcalinidad, y por ello, con una SA muy baja, como ocurre en los cantones cañeros de Liberia (11%), Abangares (4%) y Nicoya (1%), no teniendo Carrillo (0%), Cañas (0%), Bagaces (0%) y Santa Cruz (0%) evidencias de problema por acidez (Méndez y Bertsch 2012; Chaves 2017a).

El cuadro 3 amplía y desagrega la información anterior incorporando otras variables de naturaleza y contenido químico igualmente determinantes, para realizar una valoración e interpretación más certera de la condición real de acidez de los suelos de esos 30 cantones cañeros. En la misma se incluyen los porcentajes de 13.338 análisis de suelo realizados en 30 cantones de amplia tradición cañera ubicados y contextualizados en tres condiciones: Baja-Media-Alta, con lo cual es permisible tener una visión ampliada de esa condición. Para ello se anota el resultado de los cinco indicadores más reveladores de acidez, como son: 1) índice de pH, 2) Acidez extraíble ( $Al^{3+} + H^+$ ), 3) Contenido de bases (Ca+Mg+K), 4) Capacidad de Intercambio de Cationes Efectiva (CICE) y 5) Saturación de acidez (%). Con base en esos criterios se evidencian problemas importantes de acidez que deben ser corregidos en los cantones de Grecia (78%), Naranjo (61%) y Pérez Zeledón (54%); sin abandonar la necesidad de incorporar un manejo adecuado en Jiménez (47%), Palmares (47%), Turrialba (46%), Poas (45%), San Ramón (42%), Atenas (41%) y San Carlos (39%).

No puede dejar de mencionarse virtud de sus implicaciones, pese a que los problemas del país no son tan significativos por esta causa, que valores de pH altos (básicos o alcalinos) pueden resultar también limitantes para las plantas, pues provocan indisponibilidad nutricional ocasionada por otros mecanismos físico-químicos que al final también atentan sobre la obtención de rendimientos agroindustriales elevados. En la región baja de Puntarenas y Guanacaste pueden darse esos casos, pues como evidencia el cuadro 3, los valores de pH son mayores de 6,5 en el 51% de los casos en Santa Cruz, 39% en Cañas, 31% en Abangares y Nicoya, 28% en Carrillo y 16% en Bagaces. En conclusión, puede resultar tan limitante un suelo ácido con pH bajo, como uno alcalino con pH alto.

Al integrar los diferentes indicadores reveladores queda demostrado que no basta para hacer una interpretación correcta de la condición y estado de acidez de un suelo, utilizar apenas una variable como puede ser el pH o la Acidez Intercambiable, pues lo correcto es la interpretación ampliada como se presenta y demuestra en el cuadro 3. No hay duda que el análisis de los suelos constituye la forma más válida, representativa, eficaz y útil para diagnosticar la condición de fertilidad de un suelo y generar recomendaciones que conduzcan a resolver los problemas que puedan existir.

### ¿Cómo interviene el clima?

La condición de alta acidez del suelo es común encontrarla en aquellas regiones donde los niveles de precipitación son elevados, lo suficiente para lavar y lixiviar apreciables cantidades de nutrientes particularmente las bases intercambiables contenidas en los horizontes superficiales y sub superficiales del suelo, trasladándolos a los horizontes interiores donde las raíces no llegan y no pueden acceder a ellos, provocando consecuentemente el aumento del porcentaje de  $Al^{3+}$  y  $H^+$  en relación con otros cationes. La acidez del suelo es un factor limitante para la mayoría de los cultivos, especialmente donde el clima se caracteriza por la presencia de lluvias intensas y frecuentes como ocurre en los trópicos húmedos como los prevalecientes en parte del área cultivada con caña de azúcar en Costa Rica. Tampoco puede obviarse que el agua de lluvia posee un pH ligeramente ácido próximo a 5,7, debido a una reacción con el  $CO_2$  en la atmósfera que forma ácido carbónico ( $H_2CO_3$ ).

En los suelos bajo cultivo intenso y que permanecen durante buena parte de su ciclo de producción sin vegetación, el exceso de agua que precipita durante la época lluviosa o se adiciona mediante sistemas de riego, remueve (lava) y lixivia en profundidad parte de los nutrientes que se encuentran disueltos en solución. Este proceso origina pérdidas importantes de bases nutritivas, especialmente de Ca, Mg y K. Esta pérdida de bases promueve la acidificación sistemática del suelo, debido a que sus posiciones de adsorción en los sitios de intercambio de las arcillas son ocupadas por iones  $H^+$ . La pérdida de bases está asociada a

la lluvia total y especialmente a la intensidad pluviométrica prevaeciente en los meses en que el suelo está descubierto. Cuanto mayor sea la lixiviación, o sea, la cantidad de agua con nutrientes que sale del sistema y percola de la capa arable del suelo a otras más profundas o capas freáticas, mayor será el proceso de acidificación. La erosión produce igualmente efectos similares sobre la acidificación, al remover suelo con nutrientes.

En relación a los factores y elementos del clima vinculados e interventores en intensidad variable del proceso de la acidificación de los suelos, asegura Chaves (2020b), que *“El fenómeno suele venir asociado a lugares con presencia de lluvias intensas y sostenidas, altas temperaturas y alta evapotranspiración que puede provocar el acumulo superficial de sales. Buena parte de los suelos sembrados con caña del orden Ultisol, Andisol y Alfisol presentan una condición de media y alta acidez, como lo ha señalado Chaves (2019aef). La afectación de la germinación, el ahijamiento y retoñamiento de la plantación es severamente afectado por causa de una condición de acidez inadecuada...”*

#### ¿Qué podemos hacer para evitar, corregir y/o mitigar la acidificación de los suelos?

No cabe la menor duda que lo más importante de conocer respecto a la acidez y sus vinculaciones, es poder intervenir sus orígenes y las causas que la provocan, con el objeto de poder contrarrestar o al menos mitigar sus efectos detrimentales sobre las plantaciones comerciales. Partiendo de esa premisa cabe entonces preguntarse en primera instancia ¿Por qué corregir los suelos? La respuesta a esa inquietante pregunta es contundente: si la acidez no se corrige donde resulte necesario y pertinente, no hay en el caso particular de la caña de azúcar, ninguna posibilidad de poder aspirar alcanzar productividades agroindustriales de materia prima y azúcar elevados, rentables, consistentes y sostenibles en el tiempo.

Para ello es necesario reconocer en primera instancia que la acidez surge por varias vías:

- Solubilización y concentración de elementos tóxicos disueltos en el medio acuoso (solución del suelo), volviéndolos accesibles para las raíces de las plantas que pueden entonces absorberlos o ser sometidas a sus efectos tóxicos.
- Entre esos elementos tóxicos destacan las altas concentraciones de Al, Fe, Mn y Cu, los cuales queman las raíces impidiendo su capacidad exploratoria, desarrollo y actividad absorbente en el perfil del suelo.
- La presencia de esos elementos tóxicos crea una barrera química en el suelo, la cual puede ubicarse en todo el perfil o situarse en capas en diferentes profundidades por razones texturales.
- La actividad biológica y microbiológica (hongos, bacterias) del suelo se ve intervenida, afectando diversos procesos importantes que

redundan en pérdida de capacidades y productos, como acontece con la degradación y mineralización de la materia orgánica, la nitrificación y amonificación del N, la solubilización de sustancias orgánicas, entre otras. En tales casos el aporte de N y S se ve muy limitado.

- La acidez da lugar a la ocurrencia de reacciones químicas en el suelo cuyos productos secundarios son contrarios al interés agrícola, requiriendo para sus correcciones grandes inversiones que restan rentabilidad y competitividad a los proyectos agro empresariales que se desarrollen.
- Mala práctica de labranza en la preparación y manejo de los suelos.

Como señala Chaves (2020e), la mejor medida para contrarrestar la acidez del suelo es simple, pues consiste y se restringe casi a *“Incorporar correctivos y enmiendas, regular fuente y dosis de N, aplicar materia orgánica y fertilizar correctamente.”* A lo anterior debe agregarse virtud de su relevancia y presencia, la imperiosa necesidad de realizar una labor de mecanización razonable, técnica, prudente y sobre todo preconcebida por estudio y conocimiento previo de los suelos que se van a trabajar. El análisis textural, físico y químico de los suelos resulta en este caso muy valioso.



Figura 3. Encalamiento de un suelo cañero ácido.

Ahora bien, el detalle técnico de esas prácticas requiere y depende de mucho cuidado y criterio experto, pues podría caso se ejecuten con impericia, displicencia o desconocimiento provocar perjuicios graves, generando un efecto contrario al que se desea precisamente corregir, lo que sería contraproducente pues se invertiría para dañar y no para mejorar la plantación. El tema de la corrección y el encalado de los suelos introduce necesariamente tópicos que es necesario conocer y decidir con buen criterio previo a ejecutar la práctica, los cuales se vinculan con la cantidad (kg/ha), el tipo de correctivo (carbonato, óxido, hidróxido, silicato de Ca y Mg o en su caso dolomita o yeso), calidad del material (pureza, ingrediente activo, granulometría, % PRNT), momento de aplicación (ciclo planta o soca), forma de aplicación (voleo, incorporado, fajas), periodicidad, equipos de aplicación (manual, mecánico), grado de humedad, equilibrio y balance entre relaciones

catiónicas (Ca/Mg, Ca/K, Ca+Mg/K), entre otros (figura 3). En el caso de las fuentes nitrogenadas y las materias orgánicas acontece algo muy similar para las mismas variables anteriores.

Sobre el tema del encalado y corrección de suelos ácidos, uso de fertilizantes y empleo de materia orgánica, por tratarse de temas diferentes que requieren de un abordaje diferente cabe mencionar que hay mucha información disponible y accesible que puede ser consultada, como se anota y recomienda en las siguientes publicaciones relacionadas con la caña de azúcar y formuladas por Chaves (1988, 1990, 1991, 1993, 1999ab, 2002, 2017a, 2019abd) y Chaves et al. (1991).

### Conclusión

Como se ha venido reiteradamente insistiendo es necesario si se desea de verdad generar cambios profundos, significativos y permanentes en los sistemas productivos comerciales de caña de azúcar en Costa Rica, reconocer y aceptar en primera instancia, que la degradación de los suelos es una realidad nacional que merece toda la atención y prioridad necesarias. Caso contrario, se comete un tremendo error al creer que invirtiendo en tecnología se van a elevar e incrementar casi por inercia y relación causa-efecto, los rendimientos agroindustriales de manera significativa y sobre todo sostenible.

La acidificación es un proceso físico-químico que está presente y activo en buena parte de los suelos cañeros costarricenses, con una excepción relativa para la región del Pacífico Seco (Puntarenas + Guanacaste), lo cual contribuye de manera ostensible y efectiva con esa degradación, motivo por el cual merece cuidado pero sobre todo la implementación de acciones concretas que conduzcan a su corrección y mitigación. La caña de azúcar califica como una planta medianamente tolerante a la acidez del suelo, lo que varía entre clones comerciales y se fundamenta en sus sobresalientes y destacables características genéticas y anatómico-estructurales favorables, así como a su excepcional capacidad fisiológica y metabólica. El vigoroso sistema radicular que posee la caña le provee sin lugar a dudas grandes ventajas sobre otras plantas de uso comercial; además de que le permite desarrollar una gran capacidad exploratoria (horizontal y vertical) y extractora de agua y nutrimentos en el suelo.

Es conocido que el simple valor del pH refleja una situación nutricional compleja, cuyo conocimiento puede ayudar a realizar un manejo más sustentable de la fertilidad de los suelos; sin embargo, para tener una interpretación e inferencia más válida, certera y confiable sobre el estado nutricional actual y potencial de un suelo, resulta necesario contar la perspectiva que aportan otros indicadores también muy reveladores, como es el caso de la Suma de Bases o Cationes, la Acidez Intercambiable, la Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC), la Saturación por Acidez y la Capacidad de Intercambio Catiónico Efectiva (CICE).

Conociendo que uno de los factores que favorecen la acidificación sistemática de los suelos son las altas precipitaciones, es imperativo que en regiones lluviosas como la Zona Norte, el Valle Central, la Zona Sur y la región de Turrialba, se considere revisar con detalle la condición de los suelos respecto a este revelador indicador, para lo cual el muestreo resulta muy valioso. No cabe la menor duda que la acidez aunada a otros factores limitantes como la erosión, la contaminación y la compactación del suelo, contribuyen a crear un ambiente de degradación que se expresa y manifiesta en bajas productividades agroindustriales y corta vida comercial efectiva y rentable de las plantaciones comerciales de caña de azúcar del país.

### Literatura citada

- Alfaro, R.; Chaves, M. 1999. *Observaciones sobre la capacidad de extracción y agotamiento nutricional de un Ultisol cultivado con caña de azúcar*. 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: *Recursos Naturales y Producción Animal*. San José, Colegio de Ingenieros Agrónomos: EUNED, julio. Volumen III. p: 36. *También en:* Participación de DIECA en el XI Congreso Nacional Agronómico y de Recursos Naturales. San José, Costa Rica. LAICA-DIECA, julio 1999. p: 153. *También en:* Congreso de ATACORI "Randall E. Mora A.", 13, Guanacaste, Costa Rica, 1999. Memoria. San José, Asociación de Técnicos Azucareros de Costa Rica, setiembre. p: 84.
- Chaves Solera, M.A. 1988. *Efeito de Relações Ca:Mg, utilizando Carbonatos e Sulfatos, sobre o crescimento e a nutrição mineral da cana-de-açúcar*. Tesis Magister Scientiae. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, Brasil. 186 p.
- Chaves Solera, M.A. 1990. *Características de calidad de los correctivos de acidez del suelo*. San José, Costa Rica. LAICA-DIECA, octubre. 12 p.
- Chaves Solera, M.A. 1991. *Características y uso potencial del yeso en la agricultura costarricense*. Revista del Colegio de Ingenieros Agrónomos (Costa Rica) 4(7):18-20.
- Chaves Solera, M.A.; Ribeiro, A.C.; Alvarez V., V.H.; De Felipo, B.V.; Novais De, R.F. 1991. *Efecto de relaciones Ca:Mg, utilizando Carbonatos y Sulfatos, sobre el crecimiento y la nutrición mineral de la caña de azúcar*. En: Congreso Tecnológico de la Caña de Azúcar, 3, San José, Costa Rica, 1989. Memorias. San José, LAICA-DIECA. p: 159-200.
- Chaves Solera, M.A. 1993. *Importancia de las características de calidad de los correctivos de acidez del suelo: desarrollo de un ejemplo*

- práctico para su cálculo.* San José, Costa Rica. LAICA-DIECA, junio. 41 p.
- Chaves, M. 1999a. *La práctica del enclado de los suelos cañeros en Costa Rica.* En: Congreso de ATACORI "Randall E. Mora A.", 13, Carrillo, Guanacaste, Costa Rica, 1999. Memoria. San José, Asociación de Técnicos Azucareros de Costa Rica (ATACORI), setiembre. p: 216-223.
- Chaves Solera, M. 1999b. *El Nitrógeno, Fósforo y Potasio en la caña de azúcar.* San José, Costa Rica. LAICA-DIECA, setiembre. 130 p.
- Chaves Solera, M. 2002. *Corrección de suelos ácidos para cultivar caña de azúcar.* San José, Costa Rica. LAICA-DIECA, julio. 8 p.
- Chaves Solera, M.A. 2017a. *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. 2017b. *La compactación de suelos en la caña de azúcar.* Revista Entre Cañeros N° 9. Revista del Departamento de Investigación y Extensión de la Caña de Azúcar (DIECA). San José, Costa Rica, diciembre. p: 33-48.
- Chaves Solera, M.A. 2018. *Genética aplicada a la mejora de las plantaciones comerciales de caña de azúcar.* En: Congreso Tecnológico DIECA 2018, 7, Colegio Agropecuario de Santa Clara, Florencia, San Carlos, Alajuela, Costa Rica. Memoria Digital. Departamento de Investigación y Extensión de la Caña de Azúcar (DIECA), 29, 30 y 31 de agosto del 2018. 43 p.
- Chaves Solera, M.A. 2019a. *Lluvia: imperativo para corregir la acidez de los suelos para cultivar caña de azúcar.* Boletín Agroclimático (Costa Rica) 2(2): 4-5, mayo.
- Chaves Solera, M.A. 2019b. *Momento ideal para fertilizar y nutrir la caña de azúcar.* Boletín Agroclimático (Costa Rica) 3(1): 4-5, mayo-junio.
- Chaves Solera, M.A. 2019c. *Humedad y compactación de suelos en la caña de azúcar.* Boletín Agroclimático (Costa Rica) 1(6): 4-6, junio-julio.
- Chaves Solera, M.A. 2019d. *Relación agua-suelo en la caña de azúcar.* Boletín Agroclimático (Costa Rica) 1(10): 5-7, agosto-setiembre.
- Chaves Solera, M.A. 2019e. *Ambiente agro-climático y producción de caña de azúcar en Costa Rica.* Boletín Agroclimático (Costa Rica) 1(18): 5-10, noviembre-diciembre.
- Chaves Solera, M.A. 2019f. *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(11): 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.
- 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 y erosión de suelos en caña de azúcar en Costa Rica.* Boletín Agroclimático (Costa Rica) 2(16): 7-16, agosto.
- Méndez, J.C.; Bertsch H., F. 2012. *Guía para la interpretación de la fertilidad de los suelos de Costa Rica.* 1ed. San José, C.R.: Asociación Costarricense de la ciencia del Suelo. 108 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)