

Periodo 13 de diciembre al 26 de diciembre 2021

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

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

### IMN

www.imn.ac.cr  
2222-5616

Avenida 9 y Calle 17  
Barrio Aranjuez,

Frente al costado Noroeste del  
Hospital Calderón Guardia.  
San José, Costa Rica

### LAICA

www.laica.co.cr  
2284-6000

Avenida 15 y calle 3  
Barrio Tournón

San Francisco, Goicoechea  
San José, Costa Rica

## RESUMEN DE LAS CONDICIONES DE LA QUINCENA DEL 29 DE NOVIEMBRE AL 12 DE DICIEMBRE

En la figura 1 se puede observar, a partir de datos preliminares de 112 estaciones meteorológicas, el acumulado quincenal de lluvias sobre el territorio nacional.

Los máximos de lluvia diaria varían según la región arrocera. La Región Norte registra más de 25 mm los días 29 y 30 de noviembre, así como el 1 y 3 de diciembre. La Región Turrialba reporta más de 45 mm el 29 y 30 de noviembre. La Región Sur no supera los 7 mm de lluvia diaria. Se tuvieron valores acumulados de lluvia diaria que no superan los 3 mm, debido a la estación seca establecida, en las regiones arroceras Guanacaste Este, Guanacaste Oeste y Puntarenas. Valle Central a pesar de encontrarse en época seca presentó más de 20 mm el 30 de noviembre.

## PRONÓSTICO PARA LAS REGIONES CAÑERAS DEL 13 DE DICIEMBRE AL 19 DE DICIEMBRE

De la figura 2 a la figura 9, se muestran los valores diarios pronosticados de las variables lluvia (mm), velocidad del viento (km/h) y temperaturas extremas (°C) para las regiones cañeras. La Región Norte mantendrá viento del Este con su máximo el martes; mostrando humedad baja-media a lo largo de la semana y temperatura media variable con máximos entre martes y miércoles. Guanacaste (Este y Oeste) presentará viento Este con su máximo el miércoles; así como contenido de humedad baja y temperatura media variable con sus mínimos a inicio de semana. El Valle Central (Este y Oeste) tendrá viento del Este con su mínimo el martes; con contenido de humedad baja que incrementa particularmente en las mañanas; así como temperatura media variable. Para Turrialba (Alta y Baja) se prevé viento del Este con máximos martes y domingo; así como humedad alta, excepto la tarde del sábado; así como temperatura variable, con su máximo a inicio de semana. En la Región Sur se espera viento variable entre Este y Oeste con un máximo de viento del Este el martes; además de contenido de humedad baja que incrementa por las mañanas durante el fin de semana; así como temperatura media variable. Puntarenas mantendrá la semana con humedad baja; con viento variable (Este-Oeste) con un máximo de viento del Este el martes; acompañado de temperatura media variable.

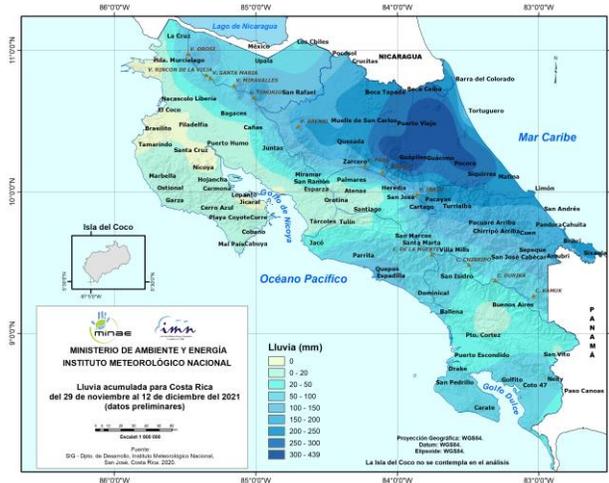
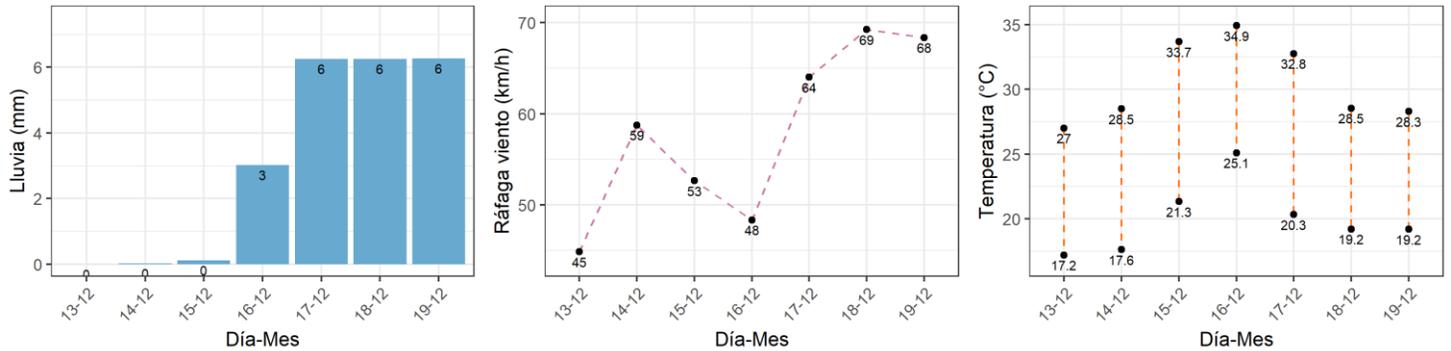
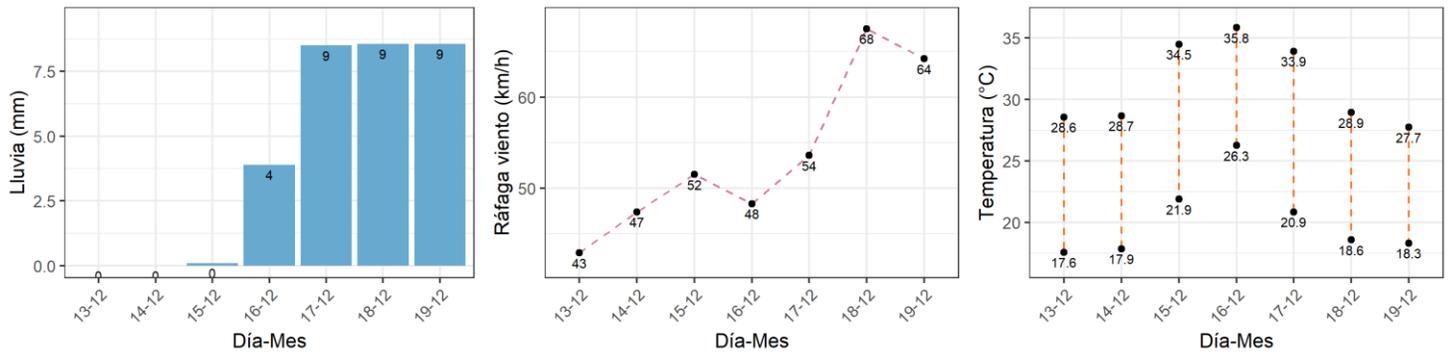


Figura 1. Valores acumulados de la precipitación (mm) durante la quincena del 29 de noviembre al 12 de diciembre del 2021.

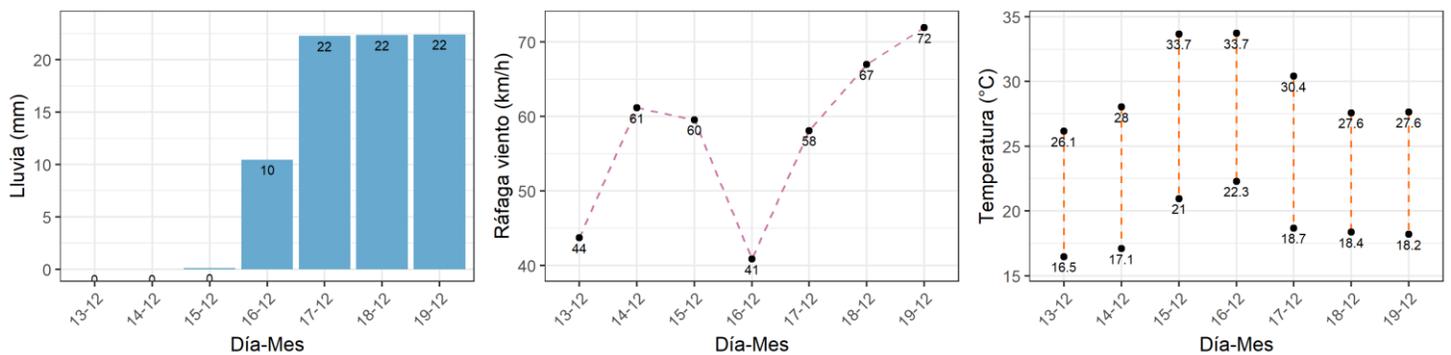
*“La semana inicia bajo el efecto del empuje frío #9 que se mantendrá hasta el martes.”*



**Figura 2.** Pronóstico de precipitación (mm), viento (km/h) y temperatura (°C) para el periodo del 13 de diciembre al 19 de diciembre en la región cañera Guanacaste Este.



**Figura 3** Pronóstico de precipitación (mm), viento (km/h) y temperatura (°C) para el periodo del 13 de diciembre al 19 de diciembre en la región cañera Guanacaste Oeste.



**Figura 4.** Pronóstico de precipitación (mm), viento (km/h) y temperatura (°C) para el periodo del 13 de diciembre al 19 de diciembre en la región cañera Puntarenas.

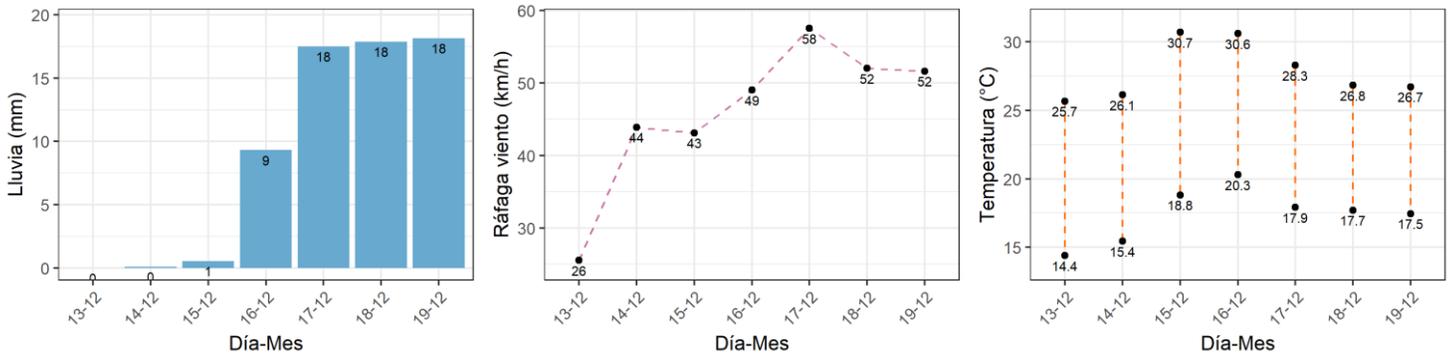


Figura 5. Pronóstico de precipitación (mm), viento (km/h) y temperatura (°C) para el periodo del 13 de diciembre al 19 de diciembre en la región cañera Región Norte.

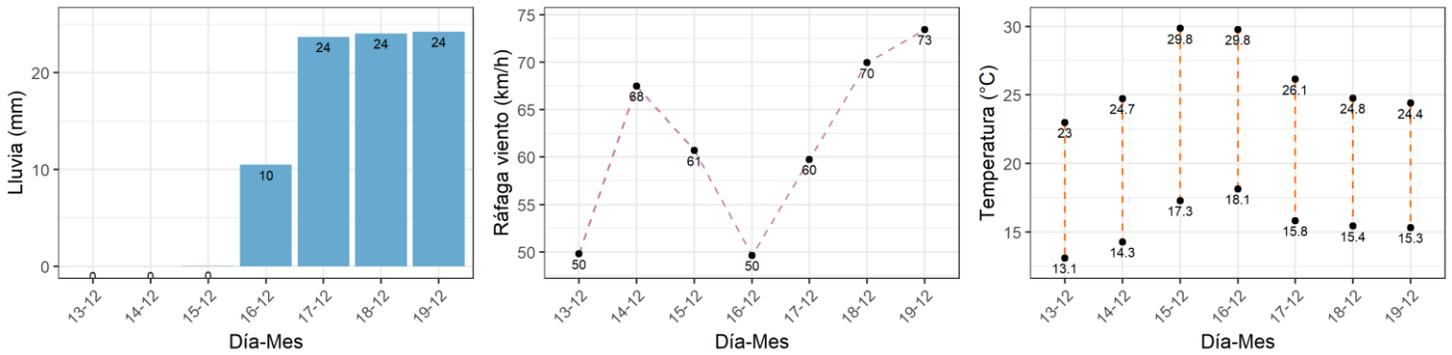


Figura 6. Pronóstico de precipitación (mm), viento (km/h) y temperatura (°C) para el periodo del 13 de diciembre al 19 de diciembre en la región cañera Valle Central Este.

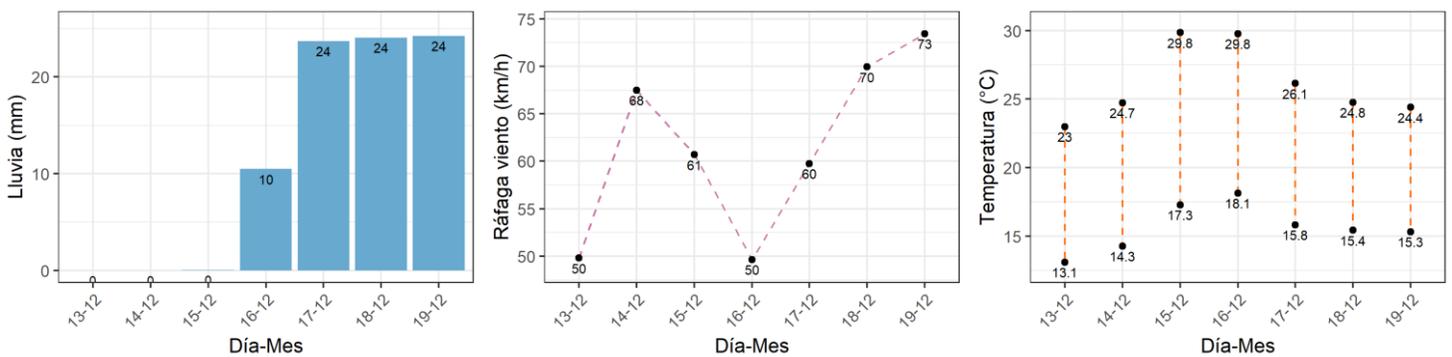


Figura 7. Pronóstico de precipitación (mm), viento (km/h) y temperatura (°C) para el periodo del 13 de diciembre al 19 de diciembre en la región cañera Valle Central Oeste.

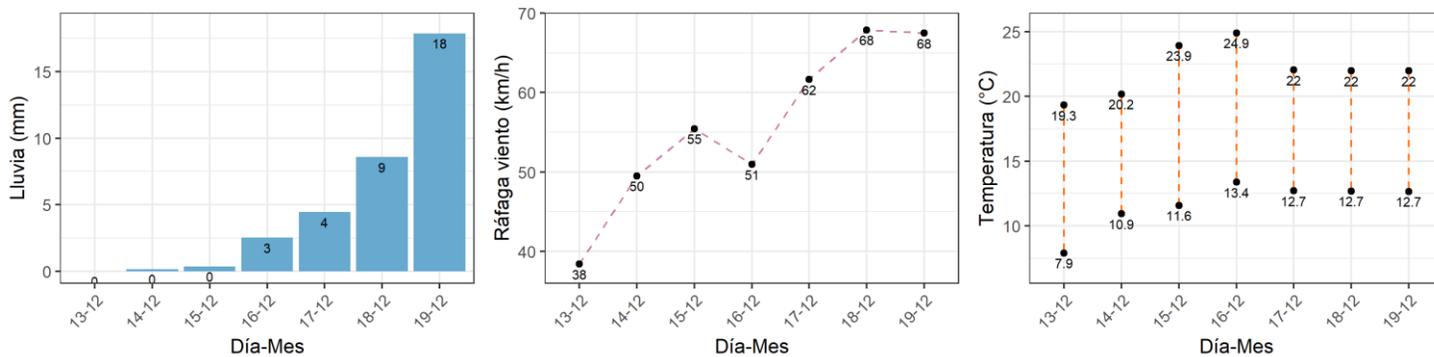


Figura 8. Pronóstico de precipitación (mm), viento (km/h) y temperatura (°C) para el periodo del 13 de diciembre al 19 de diciembre en la región cañera Turrialba.

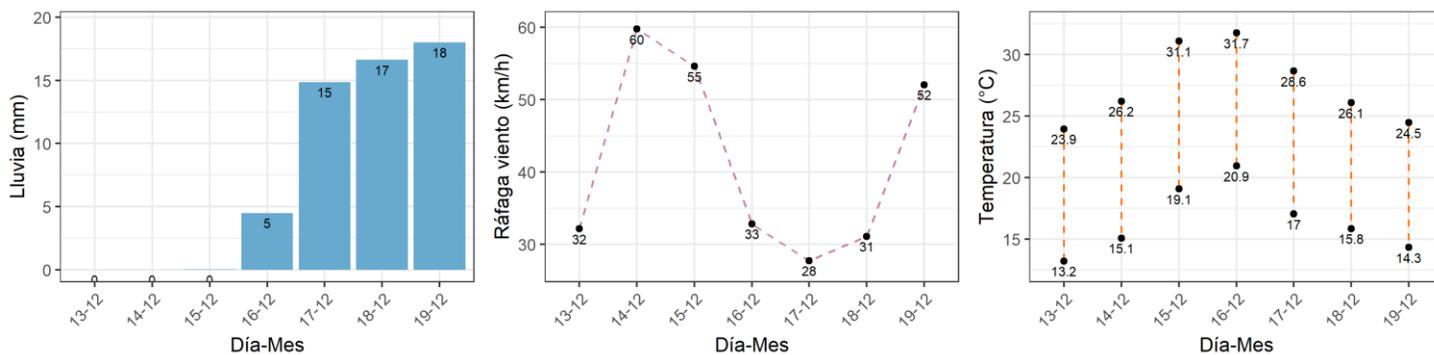


Figura 9. Pronóstico de precipitación (mm), viento (km/h) y temperatura (°C) para el periodo del 13 de diciembre al 19 de diciembre en la región cañera Región Sur.

## TENDENCIA PARA EL PERIODO DEL 20 DE DICIEMBRE AL 26 DE DICIEMBRE

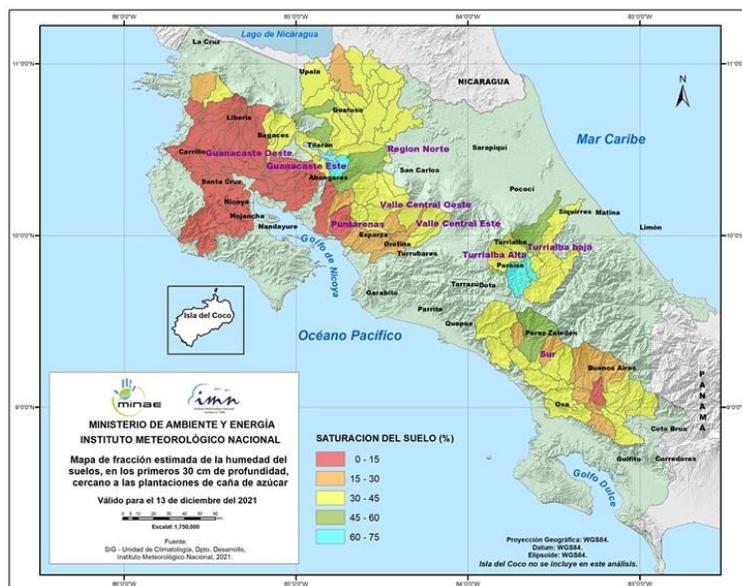
La Región Norte iniciará la semana con humedad baja-media, viento del Este con tendencia a acelerarse en los primeros 3 días y temperatura variable; de forma que la semana mostrará condiciones normales para la época en cuanto a la lluvia, pero con viento del Oeste más acelerado de lo normal. Guanacaste (Este y Oeste) iniciará la semana con viento del Este con tendencia a incrementarse en los primeros 3 días, además de contenido de humedad baja y temperatura variable; en tanto la semana completa evidenciará menos lluvias de lo normal y viento del Oeste más acelerado de lo normal. Valle Central (Este y Oeste) iniciará la semana con viento del Este con tendencia a incrementarse en los primeros 3 días, manteniendo el incremento de humedad específicamente en las mañanas y temperatura media variable; de forma que en la semana tanto la lluvia como el viento sean normales para la época. Para Turrialba (Alta y Baja) se prevé que la semana de inicio con viento del Este, humedad alta y temperatura media fluctuante; manteniéndose la semana con lluvia y viento normales para la época. En la Región Sur se espera un inicio de semana con viento variable entre Este y Oeste, condiciones de humedad baja y temperatura media variable; donde se espera que la semana sea levemente más lluviosa con viento normal para la época. Puntarenas iniciará la semana con humedad baja, además de viento variable con un máximo el miércoles, además de temperatura media variable; esperándose una semana con condiciones lluviosas normales con viento normal del Oeste más acelerado de lo normal.

## HUMEDAD DEL SUELO ACTUAL PARA REGIONES CAÑERAS

De acuerdo con Central America Flash Flood Guidance System (CAFFG), el cual estima la humedad en los primeros 30 cm de suelo, la semana del 06 al 12 de diciembre empezó con una alta saturación en la Región Norte, en la Región Sur y Turrialba, sin embargo, las demás regiones cañeras iniciaron con una baja humedad. A partir del martes la humedad fue disminuyendo en todas las regiones cañeras, esto debido a las condiciones que se presentaron en el país.

Como se observa en la figura 11, la Región Guanacaste Oeste y Guanacaste Este presentan entre 0% y 45%, la Región Puntarenas está entre 0% y 30%, la Región Valle Central Oeste tiene entre 30% y 45% mientras que la Región Valle Central Este se mantiene entre 15% y 45%.

El porcentaje de la Región Norte está entre 15% y 75%, la Región Turrialba Alta (> 1000 m.s.n.m.) tiene entre 30% y 75% y la Región Turrialba Baja (600-900 m.s.n.m.) presenta entre 30% y 60%. La Región Sur varía entre 0% y 60% de humedad.



**Figura 11.** Mapa de fracción estimada de la humedad en porcentaje (%), en los primeros 30 cm de profundidad, cercana a las plantaciones de caña de azúcar, válido para el 13 de diciembre del 2021.

## DIECA Y EL IMN LE RECOMIENDAN

Mantenerse informado con los avisos emitidos por el IMN en:

- @IMNCR
- Instituto Meteorológico Nacional CR
- [www.imn.ac.cr](http://www.imn.ac.cr)

### CRÉDITOS BOLETÍN AGROCLIMÁTICO

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

Modelos de tendencia del Departamento de  
 Meteorología Sinóptica y Aeronáutica

INSTITUTO METEOROLÓGICO NACIONAL

## PERSPECTIVA CLIMÁTICA

### Trimestre de diciembre 2021 a febrero 2022.

Pronostico: Met. Luis Fernando Alvarado, Lic.  
[luis@imn.ac.cr](mailto:luis@imn.ac.cr)  
Coordinador Unidad de Climatología (IMN)

Redacción y edición: Met. Karina Hernández Espinoza, M.Sc.  
[khernandez@imn.ac.cr](mailto:khernandez@imn.ac.cr)  
Coordinadora del Boletín Agroclimático (IMN)

Las estaciones meteorológicas monitoreadas durante el mes de octubre muestran lluvias deficitarias en algunas partes del país. Noviembre fue un mes con condiciones variadas a lo largo del país; como el déficit porcentual varió desde **-20%** (Caribe Sur), **-36%** (Valle Central) y **-38%** (Pacífico Norte). La temporada de huracanes también estuvo deficitaria en este mes, pues se formó únicamente el ciclón tropical Wanda en la cuenca del Caribe y Atlántico, sin afectación sobre el país. El detalle espacial de las anomalías se aprecia en la figura 1.

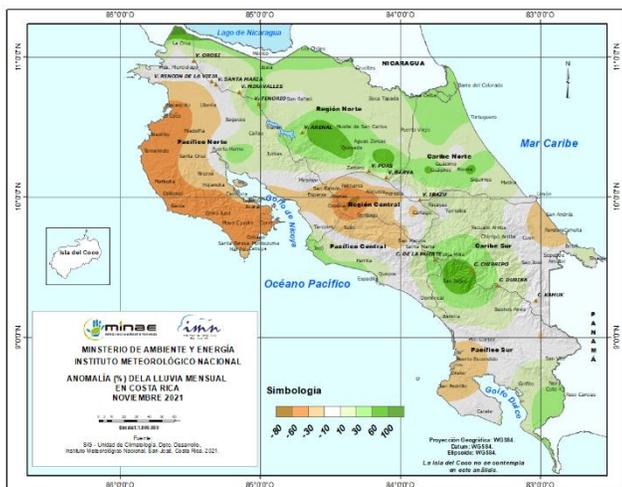


Figura 1. Mapa de anomalía porcentual de lluvia del mes de noviembre 2021 a nivel nacional. Fuente: UC-IMN.

En términos de toda la temporada de lluvias (enero a noviembre 2021), el balance oscila entre **-7%** en el Caribe Norte, hasta **18%** en la región Zona Norte Occidental que corresponde a Upala, Los Chiles y Guatuso. La distribución espacial de estas variaciones de lluvia se muestra en la figura 2.

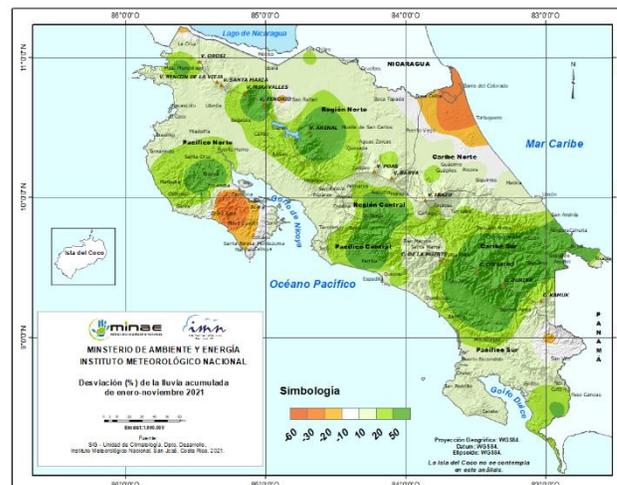


Figura 2. Mapa de anomalía porcentual de lluvia acumulada de enero a noviembre 2021 a nivel nacional. Fuente: UC-IMN.

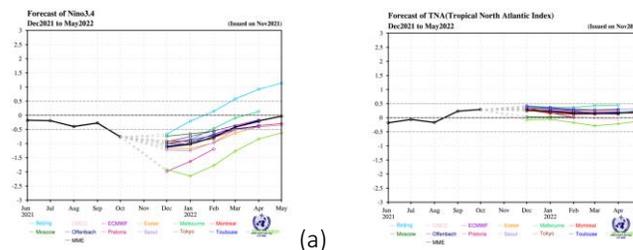
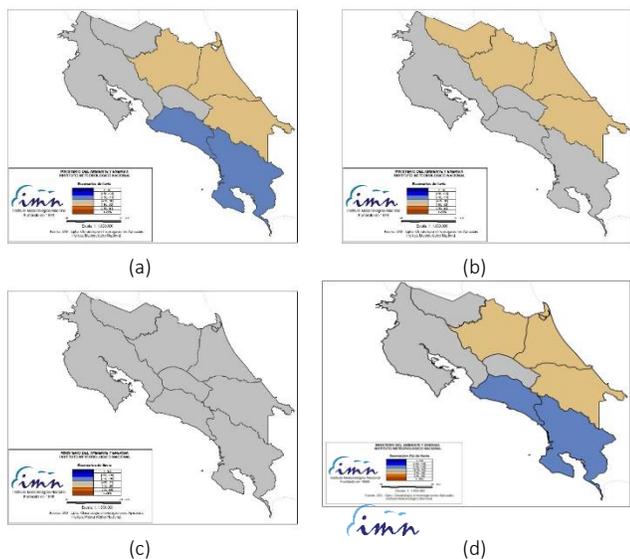


Figura 3. (a) Pronóstico probabilístico del índice de temperatura del Océano Atlántico y (b) del ENOS de diciembre 2021 a mayo 2022. Fuente: OMM.

La COENOS-IMN identifica la ocurrencia del fenómeno ENOS en su fase Fría (La Niña) pero aún debilitada, que se espera se prolongue hasta el primer trimestre del año, acompañada de temperaturas del Mar Caribe sobre lo normal durante el trimestre de diciembre 2021 a mayo 2022, como se muestra en la figura 3.

Debido a estos y otros análisis se pronostica un trimestre con condiciones entre 10-30% más lluviosas de lo normal en las regiones climáticas del Pacífico Sur y Pacífico Central; en tanto que, Zona Norte, Caribe Norte y Sur presentarán lluvias de entre 10-30% menos de lo normal; mientras Pacífico Norte y Valle Central y región GLU presentará lluvias normales para la época. El detalle por región de la perspectiva mensual se identifica en la figura 4, tanto a nivel mensual como trimestral. El valor aproximado de precipitación en milímetros por región climática para cada mes se muestra en la tabla 1.



**Figura 4.** Pronóstico de lluvias para diciembre (a), enero (b), febrero (c) y trimestre diciembre 2021 a febrero 2022 (d). (Fuente: IMN)

**Tabla 1.** Pronóstico de lluvias (mm) por región climática de diciembre 2021 a febrero 2022.

REGION	DICIEMBRE 2021		ENERO 2022		FEBRERO 2022	
	NORMAL	2018	NORMAL	2018	NORMAL	2022
PACIFICO NORTE	37	[37, 40]	11	[11, 13]	8	[8, 9]
PACIFICO CENTRAL	141	[162, 183]	61	[64, 70]	35	[36, 40]
PACIFICO SUR	151	[174, 196]	76	[80, 87]	65	[68, 75]
VALLE CENTRAL	55	[58, 64]	26	[27, 30]	20	[21, 23]
ZONA NORTE OCCIDENTAL	212	[191, 212]	143	[129, 143]	91	[95, 105]
ZONA NORTE ORIENTAL	340	[224, 253]	255	[191, 217]	161	[161, 177]
CARIBE NORTE	438	[328, 372]	291	[218, 247]	227	[216, 238]
CARIBE SUR	323	[242, 275]	232	[174, 197]	176	[176, 194]

Debido a los escenarios actuales y los pronosticados para lo que resta del año, se espera una salida de la época lluviosa retrasada, con lluvias inesperadas incluso durante la época seca. El Pacífico Norte ya inicio su transición hacia la época seca. El cuadro 1 muestra el detalle de las fechas para cada región climática.

**Cuadro 1.** Perspectiva de la finalización de la temporada de lluvias 2021.

REGION	PRONOSTICO 2021	NORMAL
Pacífico Norte	[6 - 10] nov	[2 - 6] nov
Valle Central	[16 - 20] nov	[12 - 16] nov
Pacífico Central	[11 - 15] dic	[7 - 11] dic
Valle del General	[11 - 15] dic	[7 - 11] dic
Pacífico Sur	[27 - 31] dic	[27 - 31] dic
Zona Norte Occidental	[10 - 14] feb	[5 - 9] feb

La temporada de frentes fríos del 2021-2022, que ocurre normalmente de noviembre a febrero, en base a la climatología y años análogos se estima que acumule un total de 3, de los cuales solo un sistema provocaría afectación sobre el país. En esta perspectiva no se incluyen los empujes fríos.

## NOTA TÉCNICA

## Sugerencias y recomendaciones para el uso óptimo de fertilizantes en la caña de azúcar

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

*chavessolera@gmail.com*

*Especialista en el Cultivo de la Caña de Azúcar*

Mucho se ha escrito y comentado en torno al tema de los insumos en particular lo referente a los fertilizantes empleados en la agricultura, con el objeto de atender y satisfacer las grandes necesidades nutricionales que la caña de azúcar posee, virtud de las condiciones y características particulares del cultivo, asociadas con: a) su reconocida capacidad de extracción, remoción de nutrimentos y agotamiento de la fertilidad natural de los suelos (Chaves 1986, 1999b, Bertsch 2003), b) naturaleza extensiva del cultivo en cuanto al área sembrada (hectáreas) e intensiva en su producción de biomasa y c) alta capacidad de productividad agroindustrial y prolongado uso comercial por su naturaleza semiperenne.

Más recientemente la práctica de nutrir y fertilizar las plantaciones agrícolas ha adquirido una nueva y radical visión agroproductiva, comercial y empresarial a nivel mundial y por consecuencia nacional, virtud de los condicionamientos, exigencias y regulaciones a que se ha visto sometida, impuestas por los gobiernos y demandadas por los clientes consumidores y los mercados de destino de los productos finales. Las restricciones imputadas van en todos los sentidos con alcances directos a los sistemas de producción, la calidad del producto, el almacenamiento, su transformación y todos los canales involucrados en su cadena de comercialización y mercadeo hasta llegar al consumidor final. Dichas regulaciones se han expresado mediante legislación específica y el establecimiento de normas y estrictos protocolos de cumplimiento obligatorio conducentes al deseado, anhelado y procurado Desarrollo Sostenible.

Por su naturaleza química, sus características especiales, pero sobre todo por su compleja dinámica y modo de acción en el medio, sea el suelo, la planta y/o la atmósfera, el nitrógeno (N) ha adquirido en lo particular una especial relevancia y centrado la atención en esta gestión de corte técnico-ambiental, con fijación en la ecoeficiencia como meta final y aspiración por cumplir (Chaves 1999a, 2010). Los alcances de las medidas son sin embargo de carácter general para toda la fertilización como práctica agrícola y los fertilizantes como insumo para su incorporación; lo que involucra al resto de los nutrimentos que constituyen las diferentes formulaciones de uso comercial existentes en el mercado, sean simples o complejas. Por este motivo, su optimización constituye hoy en día una prioridad, un desafío y una meta prioritaria e insoslayable para cualquier empresa y productor agropecuario que pretenda posicionarse y mantenerse en el mercado de forma competitiva.

Resulta inaceptable y muy cuestionable no pensar en la realidad actual, en la imperiosa necesidad de adecuar la práctica de la nutrición a los patrones requeridos, para ajustarse a las necesidades y exigencias del mercado. Con el objeto de abordar el tema de fondo de manera pragmática, se plantean en el presente artículo algunas sugerencias y recomendaciones generales orientadas a procurar optimizar la fertilización en el cultivo de la caña de azúcar, en particular la nitrogenada y lograr con ello su máximo aprovechamiento en beneficio de todos los agentes vinculados: la industria de los agroquímicos, el agricultor, el consumidor y el ambiente.

**Manejo integrado de la nutrición**

Como es ampliamente conocido y está suficientemente demostrado y constatado, todas las plantas entre ellas obviamente la caña de azúcar, necesitan para operar de forma normal y satisfactoria su metabolismo natural, de nutrientes que sustenten su desarrollo, favoreciendo con ello que su nivel de productividad agroindustrial sea competitiva, rentable y de alta calidad. El uso oportuno, apropiado y balanceado de elementos esenciales contribuye a mejorar ostensiblemente la nutrición general e integral del cultivo, particularmente en condiciones de suelos degradados, poco fértiles o que presentan limitantes en la disponibilidad y acceso a los nutrimentos contenidos en el sustrato para su absorción de una manera eficaz; lo que resulta fundamental para optimizar los rendimientos y la calidad agrícola y fabril, y mejorar además la resiliencia del cultivo frente al cambio climático.

La gestión mejorada y bien articulada de la fertilización como práctica nutricional puede potenciar y favorecer de manera sustancial la disponibilidad de los macro y micro nutrimentos en los cultivos; un requisito indispensable para garantizar el crecimiento satisfactorio de las plantas y acceder con ello a potenciar un rendimiento óptimo en lo que respecta a la cantidad y la calidad de la materia prima producida, cosechada y procesada en el ingenio. Además del agua, la luz solar, la temperatura y la presencia de condiciones fisicoquímicas y microbiológicas favorables del suelo, se tiene que los nutrimentos esenciales y también algunos no necesariamente esenciales, son fundamentales para optimizar la producción agrícola y mejorar la resiliencia de las plantaciones comerciales de caña de azúcar frente a las inclemencias impuestas por el cambio climático.

Acontece, sin embargo, que los factores abióticos como es el caso de las sequías o inundaciones frecuentes, la acidificación y salinización sistemática, la erosión, la compactación, la desertificación y la

extracción desequilibrada de nutrimentos del suelo, ponen en peligro y sería duda la capacidad y el potencial de incremento de la productividad de los sistemas agrícolas vigentes actualmente, al menos el del cultivo de la caña de azúcar en Costa Rica. Se estima que mucho de ese potencial se pierde debido a las carencias e insuficiencias nutricionales provocadas por la extracción desequilibrada de nutrientes en el largo plazo y el cambio climático. Esta realidad demuestra que existe una clara necesidad de mejorar la resiliencia de los sistemas actuales de producción de caña de azúcar en los entornos nacionales más difíciles, caracterizados por condiciones de clima agrestes y contar con suelos menos fértiles ubicados en las zonas más intervenidas y afectadas por el cambio climático, las altas temperaturas, el exceso y/o la escasez de precipitaciones, la acidez y la compactación del suelo. Como se ha reiteradamente señalado por Chaves (1999a, 2017c, 2019cd, 2020abceh, 2021a), buena parte de la heterogénea y contrastante área sembrada con caña de azúcar en Costa Rica sufre y padece de un proceso sistemático y continuo de degradación que afecta y limita de manera significativa su potencial productivo; lo cual debe ser intervenido, atendido y corregido con la mayor prontitud posible si se desea aspirar a niveles productivos competitivos.

En este contexto el manejo correcto de la fertilización y con ello la adición óptima, oportuna y equilibrada de los nutrientes, se convierte en una práctica que permite obtener un rendimiento agroindustrial satisfactorio del cultivo, favoreciendo y conduciendo al mismo tiempo a minimizar y mitigar la posible afectación e impacto ambiental (aire y agua) que pudiera generarse sobre el ecosistema. Resulta imperativo y necesario la adopción de una nutrición de carácter integral y no apenas selectiva, como por lo general se practica en el campo cañero nacional. Vale reconocer que el manejo integrado de la nutrición es una modalidad que está tomando mucha fuerza en la actualidad, dentro de los manejos agronómicos modernos relacionados con la fertilización procurando alcanzar una agricultura sustentable. Este concepto debe asociarse y vincularse en la práctica de campo con un principio aún mayor, relacionado con el Manejo Integrado de la Fertilidad del Suelo, que constituye un enfoque más amplio y desarrollado al incorporar más factores y elementos ligados a la nutrición integral y satisfactoria de la plantación y no apenas a la práctica de fertilizar o adicionar nutrientes al suelo o la planta.

Bajo este nuevo y moderno concepto, la fertilización del cultivo se basa no apenas en determinar qué nutriente es necesario incorporar, cuánto del mismo aplicar y cuándo adicionarlo; sino que considera también la naturaleza y la condición fisicoquímica y microbiológica particular del suelo donde va a ser aplicado. Así mismo, involucra el estado, la condición y el grado de desarrollo del sistema radicular que va a absorber los nutrientes; también el conocimiento y preferible contabilización de todas las fuentes que potencialmente aportan nutrientes (contenido mineral del suelo, agua, materia orgánica y fertilizantes sintéticos), aunados con la calidad de los insumos

empleados, lo que se traduce en una mejor y mayor eficiencia en la captación, transporte y metabolización de los nutrientes.

La adopción de este criterio torna necesario e indispensable incorporar y operar métodos efectivos de información y valoración destinados al diagnóstico y seguimiento de la condición del suelo y el sistema radicular (Chaves 2020d); así como también el adecuado registro del estado nutricional de la planta y el rendimiento agroindustrial particular generado en cada lote cultivado y cosechado por temporada (zafra). Dicha información permite realizar con muy buena aproximación una adecuada y certera estimación y proyección de las dosis de nutrientes requeridas por el cultivo, las que serán aplicadas de acuerdo con la demanda particular de cada estado fenológico del ciclo vegetativo, sea en caña planta o de retoño (Chaves 2019b).

Es definitivo y necesario desmitificar y reconocer con sentido realista que las prácticas de manejo agrícola de plantaciones basadas exclusivamente en el uso y la adición de fertilizantes químicos sintéticos no son suficientes para lograr una producción agrícola rentable y sostenible; tampoco las que se basan exclusivamente en la aplicación de materiales de naturaleza orgánica, pues ambas por separado presentan ventajas, pero también limitantes como ha sido ampliamente demostrado y señalado. Un “fertilizante ecológico” es en lo particular, una sustancia libre de químicos dañinos para la fauna y para la flora, formulada con los nutrientes esenciales que la planta necesita para crecer y desarrollarse, el cual presenta sin embargo limitantes para dar sostén en el tiempo a una producción elevada. El concepto de integralidad adquiere en este sentido gran actualidad para satisfacer los objetivos pretendidos por cualquier empresa cañera. Como fuera indicado por Chaves (2021j), en la práctica agrícola comercial el “fertilizante ideal” no existe, motivo y circunstancia por la cual debe buscarse la mejor opción que se acerque al mismo, lo cual se torna viable vinculando fuentes y optimizando factores asociados. El enfoque de buscar el equilibrio de los nutrientes incorpora una base lógica y cuantitativa orientada a estimar con precisión las necesidades de fertilizantes, al igual que establecer una estrategia para el manejo correcto y apropiado de los insumos, todo de manera específica, por sitio y en concordancia con las necesidades.

Como principio general es necesario y obligado mejorar la nutrición de los cultivos para que sean más resilientes, lo cual implica atender no apenas la fertilización como práctica agrícola; sino también todas aquellas otras necesidades que tienen relación directa o indirecta sobre la expresión del potencial productivo agroindustrial. **Una productividad agroindustrial satisfactoria y sostenible de caña de azúcar valorada en el tiempo, es el resultado de la interacción de múltiples factores bióticos y abióticos que operan e interaccionan mediante diversos y complejos sinergismos y antagonismos, que deben conocerse para potenciarse y mitigarse según sea el caso en procura de lograr el máximo provecho.**

¿Por qué es importante hacer un buen uso de los fertilizantes?

Con bastante amplitud y especificidad se han señalado reiteradamente los problemas y comentado las dificultades que entraña el mal uso y la impericia en el empleo de los fertilizantes, especialmente los originados por síntesis química y nombrados minerales; aunque resulta también cierto, que los de naturaleza y origen orgánico pueden de igual manera ser fuente de problemas ambientales, legales, productivos y por consecuencia financieros por su empleo indebido. Cada uno de los elementos nombrados y reconocidos por su función como metabólicamente “esenciales” posee características, propiedades y atributos muy particulares que definen su forma de acción en el suelo y en las plantas, como lo expusiera Chaves (2010, 1999b) con gran detalle.

Con base en lo anterior puede asegurarse que **cada nutrimento, sea macro o micro, posee una función en la planta y opera bajo una funcionalidad muy específica y particular en el medio, que establece las ventajas y también los riesgos implícitos de su empleo.** Lo sensato, efectivo y prudente está en conocer el modo de acción particular de cada nutriente, ubicar, contextualizar y procurar intervenir las condiciones bióticas y abióticas del entorno donde será aplicado y con ello minimizar los errores y maximizar la eficiencia para optimizar su funcionalidad y los efectos generados y esperados.

El caso del nitrógeno (N) es en lo particular muy especial por ser un elemento deficitario en el suelo que posee además una química de acción muy sensible y compleja, que lo hace muy volátil y con ello susceptible de sufrir pérdidas y transformaciones que limitan su disponibilidad para las plantas; acción que se da por diferentes mecanismos y en diferentes magnitudes. El N se encuentra contenido en el suelo en forma tanto orgánica ( $\approx 95\%$ ) como inorgánica, siendo mayoritariamente proveniente de los fertilizantes sintéticos inorgánicos o minerales, el fijado biológicamente por las plantas, el derivado de fuentes orgánicas (abonos, residuos de cosecha o RAC, estiércol de animales, cachaza de la agroindustria azucarera, entre otros), y el que de manera natural se mineraliza en el suelo por acción microbiana a partir de la materia orgánica (Chaves 1999b, 2010, 2020fg, 2021c). En consideración de la magnitud y extensión del área sembrada (ha) con caña de azúcar, las cantidades requeridas (kg N/t), las dosis aplicadas (kg/ha) y el efecto productivo generado (t caña y azúcar/ha), provocan que los fertilizantes nitrogenados constituyan en la actualidad la mayor fuente de nutrientes empleada en la producción agrícola mundial, nacional y en lo particular por la agroindustria cañero-azucarera costarricense. Este mérito trae también sus consecuencias lo que merece del cuidado responsable y atención correspondiente.

Las formas químicas activas más importantes en las que se encuentra presente el N en la naturaleza son muy diversas y particulares, lo que eleva la posibilidad de perderse en el medio (suelo, atmósfera), sea como nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ), nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ), óxido nítrico (NO), óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ), amonio ( $\text{NH}_4^+$ ), amoniaco ( $\text{NH}_3^+$ ) e inclusive como nitrógeno elemental ( $\text{N}_2$ ), como lo señalaran y comentaran con gran detalle

Fassbender y Bornemisza (1994), Bertsch (1998), Mengel y Kirkby (2001), Epstein y Bloom (2006), Montenegro y Chaves (2011), Chaves (2010, 2020f, 2021abcfgh). Algunas de esas formas químicas poseen un alto potencial y poder de contaminación de las fuentes hídricas ( $\text{NO}_3^-$  y  $\text{NO}_2^-$ ) y la atmósfera ( $\text{N}_2\text{O}$ ); lo que no ocurre con la forma molecular gaseosa ( $\text{N}_2$ ) pues es inerte y no tiene efectos negativos colaterales sobre el ambiente y los ecosistemas.

Producto de la imperiosa necesidad de satisfacer las grandes necesidades que se tienen de N para uso agrícola y motivados por el hecho de que la naturaleza no está en capacidad de proveerlo en las cantidades requeridas, manifiesta Chaves (2021f), que *“...la industria química mundial ha promovido la formulación y disposición de fertilizantes inorgánicos concentrados y muy variados en forma y contenido para uso comercial, los cuales son fácilmente adquiridos, distribuidos y utilizados para suplir la necesidad de cualquier elemento requerido por los cultivos. Esta realidad ha provocado, sin embargo, que los fertilizantes inorgánicos se han llegado a convertir en un período de tiempo relativamente corto, en un serio problema ambiental que debe atenderse con la celeridad, responsabilidad y efectividad necesarias.”*

En lo pragmático y muy vinculado con el manejo de plantaciones comerciales en el campo, es necesario tener presente para operar de manera prudente y exitosa un programa de manejo nutricional del cultivo, que los elementos son absorbidos por las plantas en diferentes formas químicas activas y condiciones algunas veces disímiles según el elemento, como acontece por ejemplo con el grado de acidez (pH) requerido para disociar formas solubles y accesibles para absorber por las raíces. En el caso del nitrógeno la absorción se da en forma de  $\text{NH}_4^+$  y  $\text{NO}_3^-$  en donde por lo general el  $\text{NO}_3^-$  se encuentra contenido en mayores concentraciones en su fase de movilización hacia las raíces; lo cual provoca que por su alta solubilidad se lixivie o en su caso sea arrastrado fácilmente por el agua de escorrentía, pudiendo eventualmente llegar a contaminar aguas subterráneas y/o superficiales. Otros elementos esenciales como es el caso del fósforo (P) presenta como lo anotara Chaves (1999b), varias formas químicas con potencial de absorción según sea el grado de acidez, pero preferentemente ingresa como  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ; en tanto que los cationes metálicos penetran la planta diluidos en agua en su forma iónica como  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{Mg}^{2+}$  y el azufre como  $\text{SO}_4^{2-}$ . Con los micronutrientes acontece lo mismo. Esta circunstancia provoca que las relaciones entre nutrientes desempeñen un rol primordial en la nutrición del cultivo, lo cual debe ser conocido y conducido buscando su optimización, como lo anotara Chaves (1988, 2012).

Se ha comprobado por medio de la investigación que las mayores pérdidas de nutrientes que suceden en el suelo luego de realizar las aplicaciones de fertilizante ocurren por causas y mecanismos muy diversos, como son la volatilización, la nitrificación, la desnitrificación, la inmovilización, la fijación y también las debidas a la extracción y remoción provocada por las cosechas sucesivas de materia prima

extraídas del campo para su procesamiento (Chaves 1986, 1999b, Bertsch 2003). El tema de la funcionabilidad, las pérdidas, la absorción y el consecuente aprovechamiento de los nutrientes en la agricultura cañera es prioritario, muy importante de abordar y considerar en las prácticas de manejo de plantaciones; por lo que no puede ser desconocido y menos desatendido como estrategia administrativa, productiva, económica y ambiental.

#### ¿Cuáles son los errores más comunes en el empleo de fertilizantes?

Con el desarrollo de la denominada “Revolución Verde” (de 19650 a 1980 en los EUA), se dio la aceptación e implementación acelerada e intensiva de factores que concurren con la adopción de una serie de prácticas y tecnologías modernas y muy novedosas para la época, que incluyeron la siembra de variedades de alto potencial productivo (trigo, maíz y arroz, principalmente), dotados de una mayor tolerancia y capacidad de adaptación a climas extremos, plagas y enfermedades. Se incorporaron también nuevos métodos y sistemas de cultivo que incluían la mecanización intensiva, así como el uso de agroquímicos y riego; en cuyo caso los fertilizantes tuvieron una gran importancia y relevancia e impacto en el incremento de los rendimientos agrícolas de los países en vías de desarrollo (FAO 1998). Esta iniciativa histórica ha mantenido sin embargo arraigo y actualidad en el tiempo, motivo por el cual muchos de los principios que sustentaron su operación se mantienen aún vigentes, pese a que las circunstancias y las condiciones de producción han cambiado radicalmente; al igual que las exigencias de los consumidores y las impuestas por los mercados de destino. La contextualización y adecuación se hace en este caso obligada.

No obstante, los incuestionables incrementos alcanzados en la producción de alimentos durante el período de la post guerra con el desarrollo de la iniciativa y el nuevo modelo de producción impuesto, el uso intensivo, excesivo, abusivo y permanente de los factores involucrados, causaron graves problemas en las propiedades fisicoquímicas y microbiológicas de los suelos y los ecosistemas impactados, con el reconocido y cuestionable costo económico y ambiental que debió pagarse. En la actualidad se procura contornar, cambiar y desestimular el mensaje y la enseñanza dejada por la Revolución Verde en muchos sistemas agro productivos en cuanto al empleo de insumos y tecnologías claramente degradantes y muy cuestionadas en la actualidad; los fertilizantes sintéticos y la mecanización intensiva son algunos de ellos.

En su estudio sobre “Errores y omisiones técnico-administrativas que sacrifican productividad y cuestan dinero en la agroindustria azucarera”, Chaves (2015) identificó un total de 65 asuntos específicos sobre los cuales expresa “...hay que prestar atención y concentrar esfuerzos, con el fin de procurar eliminar, reducir y/o mitigar sus impactos negativos y poder así re direccionarlos contrariamente a potenciar incrementos productivos, reducir el riesgo implícito, bajar costos y elevar la rentabilidad.” Agrega el autor en

torno al mismo tema “...que las limitantes verificadas van orientadas en varios órdenes cuya incidencia resulta también variable, virtud de su impacto diferencial sobre los costos, la productividad y la rentabilidad, pudiendo identificarse como más relevantes los siguientes: administrativos, financieros, legales, tecnológicos, laborales, comerciales e informativos.”

Al desagregar esa problemática enunciada en lo concerniente exclusivamente al campo de la nutrición concebida en las áreas de la corrección y la fertilización de los suelos, el autor identificó un total de 8 asuntos específicos que representaron el 12,1% de todos los errores y omisiones visualizadas, los cuales se anotan con detalle en el Cuadro 1. A los mismos se agregan otros 10 (15,2%) asuntos de índole administrativo pero que se estima afines a los anteriores y que se presume también interfieren, lo que eleva el total a 18 tópicos que representan el 27,3% de todos los asuntos señalados, lo que es muy significativo y revelar de su importancia. Su análisis resulta sustancial al momento de buscar optimizar el empleo y elevar la eficiencia de la fertilización y los fertilizantes, motivo por el cual esos “errores” resultan necesarios de superar si se desea alcanzar la excelencia.

Un detalle genérico y muy resumido de la problemática más evidente y común vinculada con la nutrición y la fertilización de plantaciones de caña de azúcar, puede sintetizarse en aspectos muy precisos como son entre otros los siguientes:

- a) Desconocimiento de las necesidades nutricionales básicas del cultivo de acuerdo con la función y funcionabilidad particular de cada nutrimento en el suelo y la planta
- b) Aplicar el fertilizante en discordancia con las necesidades nutricionales propias y específicas del ciclo vegetativo, sea planta o retoño (soca)
- c) Ignorar las condiciones y características edáficas y de clima del entorno donde se ubica la plantación
- d) No contar con información fisicoquímica representativa del suelo y datos confiables de clima del lugar
- e) Aplicar fertilizantes fuera del momento y la condición fenológica ideal de la plantación
- f) No realizar la adecuación y el acondicionamiento previo de los suelos mediante el uso de enmiendas (ej. cal, materia orgánica)
- g) Realizar una fertilización comercial nutricionalmente desbalanceada, parcial e incompleta
- h) Emplear fórmulas y formulaciones de fertilizantes comerciales inadecuadas para el lugar, la condición, la ocasión y la necesidad
- i) Dosificar (kg/ha) de manera errónea la adición de los nutrimentos sea por exceso o por insuficiencia
- j) No fraccionar la adición del fertilizante cuando la situación y condición del entorno lo justifica y amerita
- k) Ignorar y/o desconocer el potencial de pérdida y contaminación que puede generar el fertilizante

- l) No planificar y disponer con sentido realista las acciones, necesidades y requerimientos (peones, equipos, transporte, insumos) previstos antes y durante la práctica de campo
- m) Trabajar por simple suposición y criterio personal un tema complejo de gran trasfondo y contenido técnico
- n) Operar bajo una administración mediática y oportunista sin pensar y proyectar a corto y mediano plazo
- o) Creer que todo sobre la materia lo sabe y la consulta técnica especializada resulta innecesaria
- p) Desconocer con el grado de detalle necesario los recursos involucrados y los gastos incurridos con la práctica
- q) No llevar un registro histórico detallado de fórmulas, dosis, costos, rendimientos y producción
- r) No trazar una ruta crítica previa de movimientos, acciones y necesidades por atender y resolver durante la ejecución de la práctica
- s) Carecer de un razonable plan y programa alternativo emergente caso surja algún inconveniente (lluvia, sequía, viento, falta de producto, cambio de fórmula, etc.)
- t) Desconocer el vínculo y la asociación que existe con relación a otros factores de manejo de la plantación implicados y necesarios considerar
- u) Incorporar y utilizar tecnologías sin validación y comprobación previa basadas en *“lo que yo creo y lo que a mí me parece”*
- v) Trabajar siguiendo la premisa de *“adquirir y emplear lo más barato”* sobre otros elementos importantes como son fórmulas, contenido, necesidades y balances nutricionales

#### Sugerencias y recomendaciones para el uso óptimo y eficiente de los fertilizantes

Con el objeto de aportar algunos elementos relevantes a la causa de la eficiencia, la productividad y la rentabilidad, se proponen y sugieren a continuación algunas recomendaciones pragmáticas e importantes orientadas a promover y favorecer el empleo técnico, prudente y financieramente óptimo, ambientalmente sostenible y ecoeficiente de los fertilizantes aplicados en la caña de azúcar; muy en especial los nitrogenados virtud de su dinámica, complejidad y efectos colaterales derivados, como fue oportunamente señalado por Chaves (1999b, 2010, 2015, 2017a, 2020h, 2021abcdghij). Se espera que con la adopción de las 52 sugerencias y recomendaciones aportadas y que se anotan seguidamente, minimizar y mitigar en algún grado importante las pérdidas, la contaminación (suelo y agua) y la emisión de Gases con Efecto Invernadero (GEI) a la atmósfera; además de elevar la eficiencia de los fertilizantes aplicados. Entre las sugerencias y recomendaciones aplicadas a condiciones especiales y muy particulares según sea la situación, pueden mencionarse las siguientes:

- 1) En materia financiera el costo implicado y vinculado con la aplicación de fertilizantes minerales en la caña de azúcar es alto y significativo y, por ello, no se puede ni debe ignorar,

como lo demostrara Chaves (2021d) al ubicarlos a nivel nacional en un promedio del 19,3% (13,2% sin incorporar la corrección de la acidez) en ciclo planta y 13% en el ciclo de retoño o soca; valor que se concentra principalmente en el fertilizante nitrogenado. Resulta por esta justa razón necesario y obligado procurar optimizar su uso y buscar maximizar una rentabilidad con utilidades.

- 2) Se debe en primera instancia reconocer y aceptar sin condicionamiento alguno, que los fertilizantes independientemente de su origen y características son insumos importantes y necesarios para complementar y satisfacer las necesidades nutricionales básicas y esenciales de todas las plantas; lo cual se maximiza en el caso de los proyectos agroempresariales operados bajo una visión competitiva y de alta productividad agroindustrial. Cada nutrimento tiene en este contexto una participación y función vital que cumplir sea de manera directa o complementaria; sin la cual las posibilidades de aspirar a lograr productividades satisfactorias y sostenibles en el tiempo se tornan difíciles de alcanzar, salvo se cuente con condiciones naturales edafoclimáticas muy especiales y excepcionales.
- 3) Consecuentes y en perfecta línea con los fines y objetivos procurados con la práctica de fertilizar, es muy importante conocer con el detalle necesario y de previo a formular cualquier plan o programa de fertilización, las necesidades nutricionales y fisiológicas del cultivo de la caña en cada una de las etapas fenológicas del ciclo vegetativo de la planta. La medida ubica y contextualiza con muy buena aproximación, en asocio con las condiciones y características particulares del entorno agroproductivo, las fuentes, dosis (kg/ha) y momentos más oportunos para realizar la adición de los nutrimentos al suelo, muy en particular el N (Chaves 1999ab, 2019b).
- 4) La selectividad de los nutrimentos es máxima dependiendo de la fase fenológica en que se encuentre el cultivo, lo cual viene determinado expresamente por la *“función y funcionabilidad”* de los nutrimentos esenciales; esto operado de acuerdo con la edad del vegetal. En su carácter individual cada nutrimento cumple una función fisiológica y metabólica específica en la planta, la cual se puede ver afectada e intervenida por la generación de un indeseable estado de *“estrés mineral”* causado por insuficiencia y deficiencia, o en su caso por exceso y toxicidad como bien lo señalara Chaves (2021ai).
- 5) Importante concebir que fertilizar no implica necesariamente por razones de integralidad nutrir la plantación, razón por la cual el concepto de efecto conjunto, interacción y sinergismos resulta esencial de considerar, tener presente e implementar al momento de definir un plan o programa de fertilización y adquirir las fuentes

comerciales. La nutrición se induce con la fertilización, pero no por fertilizar se logra necesariamente nutrir una plantación.

- 6) La nutrición adquiere sentido y realidad si se cuenta con un sistema de absorción radical profuso, fuerte, sano y activo, lo que implica necesariamente favorecer y promover labores que contribuyan con la formación, extensión y profundización de las raíces en el suelo. No puede nunca dejar de concebirse que *“las raíces son la boca de la planta, y si la misma está obstruida, limitada e impedida, no puede haber entonces una alimentación óptima y balanceada posible.”*
- 7) Caso los elementos del clima sean cambiantes o muy desfavorables en su comportamiento, resulta imperativo contar con información climática y edáfica (textura) confiable y representativa de la localidad donde se ubica la plantación; la cual de todas maneras siempre resulta muy valiosa conocerla. En lugares con suelos de textura arenosa y regímenes de alta precipitación, es casi obligado fraccionar la adición del fertilizante, como sucede y se recomienda en la Región Norte y Turrialba-Juan Viñas. Lo mismo puede aplicar en condiciones extremas de zonas secas sin o con riego. Como señalara Chaves (2021b) *“La solubilización, disponibilidad, absorción, transporte y asimilación de nutrientes corresponde a un proceso complejo y multivariado de naturaleza física-química-biológica-metabólica, donde ocurren múltiples interacciones sinérgicas y antagónicas en el ámbito de las relaciones Clima-Suelo-Planta.”*
- 8) Es exigido contar como elemento indispensable de partida para fines correctivos y de mejora, con información representativa y un conocimiento muy detallado de la condición de fertilidad actual del suelo donde se encuentra situada la plantación; para lo cual es obligado realizar muestreos periódicos (al menos cada dos años) que diagnostiquen la condición fisicoquímica de los mismos. No se puede pretender mejorar algo que no sabemos con certeza cuál es su estado y condición real lo que viene dado en alto grado por su ubicación geográfica (Chaves y Chavarría 2017, Chaves 2017a, 2019acd, 2021e).
- 9) El análisis (semi o detallado) del suelo debe no apenas revelar el estado y la condición actual de fertilidad de este, sino también, orientar y coadyuvar en la medida de lo posible, a incorporar el fertilizante de acuerdo con la condición específica de necesidad nutricional de la plantación, bajo un criterio estricto de *“agricultura de precisión o de sitio”* mediante la modalidad *“tasa variable”*. Esta medida significa e implica evitar y abortar las clásicas y tradicionales aplicaciones generalizadas, indiscriminadas e igualitarias de fertilizante en toda la plantación (tasa fija), como lo indicara Chaves (2021j).
- 10) No puede ni debe bajo ninguna circunstancia ignorarse y menos aún desconocerse que la nutrición es un concepto integral donde ocurren tanto en el suelo como en la planta efectos sinérgicos y antagónicos entre factores y nutrientes; que en el caso particular del N en la planta resultan determinantes, como acontece con las conocidas relaciones iónicas entre N:K y N:S; además de la reconocida relación C:N en la fase inicial de mineralización del ciclo biológico del N en el suelo; al igual que las relaciones P:S, Ca:Mg y otras afines con K (Chaves 1988, 2017b, 2020a). En su abordaje sobre el tópico Chaves (2012) plantea un interesante desarrollo temático sobre las *“Relaciones catiónicas y su importancia para la agricultura”*.
- 11) Es necesario y obligado que en aquellos casos donde la condición de acidez del suelo lo justifique y amerite, proceder con su inmediata corrección y adecuación mediante la aplicación de enmiendas bajo los criterios y regulatorios establecidos sobre fuentes, dosis, época, modalidad y periodicidad (Chaves 1988, 1999c, 2017a, 2020bh).
- 12) Es definitivo que la cantidad y calidad de los nutrientes previsto utilizar debe considerar siempre en su identificación y adquisición las condiciones edáficas, pero también las climáticas prevalecientes en el lugar donde se producirá la caña. La lógica demanda que el insumo adquirido sea apropiado para el lugar y no al contrario.
- 13) Como medida preventiva importante y con alto rédito agregado, se debe evitar en la medida de las posibilidades incorporar un laboreo excesivo e innecesario del suelo durante su preparación para realizar la siembra, pues las pérdidas en este caso de N por oxidación y mineralización de la materia orgánica pueden ser importantes al favorecer una mayor oxigenación. El empleo y paso del arado y la rastra deben ser regulados y ajustados a lo estrictamente necesario. El suelo debe quedar suelto, pero no en exceso. En este acápite se deben incorporar medidas orientadas a la conservación de los recursos suelo, agua y la biodiversidad presente (Chaves 2020abcf). En zonas cañeras como la Sur se debe evitar realizar preparación profunda del suelo, pues la capa arable superficial es muy fina y de poco espesor sobre todo en lomeríos, por lo que una labor profunda genera más problema al extraer material poco conveniente (Chaves y Barrantes 2007).
- 14) La heterogeneidad y variabilidad que poseen los sistemas actuales de producción de caña de azúcar en Costa Rica (riego-secano, mecánica-manual, cosecha quemada-verde, plano-ladera), hacen que cada vez se torne más difícil satisfacer las necesidades básicas de nutrición del cultivo cuando las metas y expectativas agroproductivas son elevadas; pues como es conocido y está suficientemente constatado, buena parte de los problemas de fertilidad de

los suelos son de carácter natural e intrínsecos al propio sistema agroproductivo, lo que reduce las posibilidades de acción en procura de provocar su mejoramiento y adecuación.

- 15) En el caso de plantaciones ubicadas en relieves quebrados (Turrialba, Valle Central, Zona Sur) debe diferenciarse y discriminarse el manejo de la fertilización, pues las condiciones y necesidades de cada sección son diferentes. La sección más baja del lomerío es por lo general más rica en nutrimentos respecto a la superior e intermedia, pues hay movilización de los mismos por escorrentía y lixiviación. Asimismo, la acidez del suelo es mayor en las dos secciones superiores. Como señalaran Chaves y Alvarado (1994), el manejo de la fertilización en plantaciones de caña de azúcar ubicadas en condición de ladera difiere mucho de la realizada en zonas planas y de baja pendiente. Por el área importante de plantaciones comerciales situada en esta condición, el asunto merece cuidado y atención.
- 16) Virtud de las condiciones del clima nacional, no es conveniente que las plantaciones de caña mantengan el suelo desprotegido y sin ninguna cobertura vegetal, sobre todo si se carece de medidas y programas orientados a promover la conservación y el control de erosión; lo cual adquiere máxima prioridad si el grado de pendiente del terreno resulta limitante (>8%) como es común en muchas localidades productoras, lo que obliga adoptar medidas preventivas de contención que reduzcan y minimicen las pérdidas potenciales que puedan ocurrir por causa de la escorrentía y la erosión (Chaves 2020bc).
- 17) En el caso del N acontece que el uso predominante y continuo de fuentes amónicas, igual que nítricas, puede interferir y condicionar la acidez y modificar el complejo de intercambio del suelo, afectando la solubilidad y disponibilidad general de nutrientes esenciales para las plantas. Es conveniente por ello, mantener un sano balance y, sobre todo, controlar la acidez intercambiable, el pH y proceder con su corrección y acondicionamiento (hacia arriba y abajo), cuando la situación lo amerite y justifique, empleando para ello enmiendas de calidad de acuerdo con los criterios técnicos aplicados para ese fin y condición específica. Es prudente y conveniente procurar combinar, complementar y balancear las tres fuentes habituales empleadas para incorporar N: urea, nitratos y amonio; buscando siempre su optimización y buen uso (Chaves 1999ab, 2017a, 2019a, 2020h, 2021ab).
- 18) Es importante diseñar y estructurar un programa de corrección, adecuación y fertilización objetivo y realista, cotejando y vinculando lo que se tiene en el suelo con lo que se desea y considera debería tener el mismo, para acompañar y satisfacer la expectativa productiva potencialmente esperada y pretendida alcanzar. En esta decisión interviene la capacidad, viabilidad y factibilidad tecnológica, administrativa y financiera de poder proveer complementariamente lo que por infertilidad el suelo no posee disponible (relación entre deseado y existente).
- 19) La necesidad de provocar e inducir cambios positivos de fondo en el sistema de producción, torna interesante, importante y muy necesario impulsar el uso de herramientas tecnológicas avanzadas como son los análisis de suelo y foliares (en lo posible), medidores de clorofila, establecer curvas de absorción nutricional, medición de pérdidas (en el caso del N como  $\text{NH}_3$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ,  $\text{N}_2$ ), balances nutricionales y estimaciones de eficiencia y eficacia de los insumos fertilizantes, entre otros; todo con el debido asesoramiento técnico especializado, con el objeto de ubicar y ajustar con la mayor precisión posible las dosis de nutrimentos que deben adicionarse al cultivo. No hay duda de que el empleo de esas herramientas coadyuva a tomar la mejor decisión en torno al uso de los nutrientes basados en criterios sencillos y muy pragmáticos. El método de los balances pretende conocer y ubicar los factores que intervienen en el ciclo activo de los nutrimentos en el suelo y la planta (Fassbender y Bornemisza 1994), para colaborar con el agricultor en la toma de la mejor decisión posible de cómo actuar.
- 20) Deben fijarse y adoptarse medidas preventivas y de mitigación eficaces considerando que el nivel de pérdida de los fertilizantes minerales y también orgánicos, los cuales no están exentos en absoluto de sufrirlas, habilitada por varios mecanismos (fijación, lixiviación, inmovilización, volatilización, nitrificación, desnitrificación, remoción) puede ser potencialmente muy significativa, como lo mencionaran Fassbender y Bornemisza (1994), Bertsch (1998), Mengel y Kirkby (2001), Epstein y Bloom (2006), Chaves (1999b, 2010, 2021bfgi).
- 21) La incorporación y tapado del fertilizante en el suelo debe ser una práctica habitual ya que permite reducir emisiones y pérdidas, lo cual se puede realizar mediante la desaporca-aporca sea manual o mecánica.
- 22) En lo posible y deseable es prudente y recomendable evitar quemar la plantación de caña para su cosecha; como también los residuos biomásicos que pudieran quedar como remanentes en el suelo antes, durante y después de ejecutada la corta y recolección de la materia prima en el campo, pues la afectación que sufre el substrato suelo es alta e inminente. Como señalaran Montenegro y Chaves (2011) en torno al tema, *“existe evidencia científica que muestra la presencia de menores contenidos de Carbono en el suelo con la ejecución de la práctica de quema de residuos y plantaciones, por lo que se requiere desestimular prudente, sistemática y racionalmente esta práctica y con ello lograr más beneficios ambientales asociados con este cultivo.*

*Resulta imperativo aplicar estímulos que coadyuven.*” No hay duda por tanto de que la quema de restos vegetales de cosecha (RAC), significan una pérdida neta de nutrientes en el suelo; sobre todo si la quema del material vegetal se da en el suelo y no sobre la planta en pie pues el efecto calórico tiene mayor residencia y duración.

- 23) El empleo de fertilizantes comerciales dotados de una menor solubilidad (fertilizantes de liberación lenta) o de liberación regulada (cutícula porosa), favorecen la dosificación y disposición lenta del N en el medio (solución del suelo) de manera que las raíces de la planta pueden absorber el nutriente con mayor eficiencia en el tiempo. Estos modernos y convenientes fertilizantes de liberación lenta son una excelente alternativa para disminuir las pérdidas de nutrientes caros y valiosos, en especial el N; pese a lo cual tienen la limitante de que su costo es significativamente muy superior.
- 24) Como acontece con cualquier insumo agrícola cuyo uso pretenda lograr la máxima eficiencia potencial posible, se debe aplicar una estricta selección de la fuente idónea por emplear, ajustando además las dosis necesarias incorporar al lugar y la etapa fenológica específica de desarrollo en que se encuentre el cultivo; asegurando además que su aplicación ocurra en los momentos más oportunos para lograr su mayor y mejor aprovechamiento. Como apuntara Chaves (2021cdg) para el caso particular del N, en la caña de azúcar se ha encontrado que la planta tiene más afinidad por los nitratos. Virtud de la excelente respuesta que el cultivo ha mostrado al azufre, es conveniente que las fórmulas y fuentes empleadas contengan el nutriente como elemento acompañante secundario, lo que es ganancia para el sistema.
- 25) Se debe considerar en el caso particular y específico del N, que aparte de los abonos nitrogenados tradicionales y convencionales como la urea, el nitrato amonio, el sulfato de amonio y el nitrato de calcio, entre otros; en la actualidad se vienen desarrollando dos grupos importantes de fertilizantes orientados a mitigar las pérdidas y aumentar la eficiencia. Entre ellos se tienen los fertilizantes nitrogenados de liberación lenta o retardada que, empleando diferentes mecanismos, hacen que las formas de nitrógeno asimilables por las plantas se dosifiquen y liberen lentamente de manera que las pérdidas se reduzcan y minimicen. El mecanismo con el que operan esos fertilizantes, son: a) las formas activas de N están envueltas en un material que se disuelve gradualmente con la humedad del suelo (abonos recubiertos) y b) las formas activas están unidas a polímeros que disminuyen la solubilidad de estas (urea-formaldehído). También están los fertilizantes estabilizados, donde algunas formas de N van acompañadas de moléculas inhibitorias de procesos de transformación del N en el suelo; como por ejemplo, una fuente de N amoniacal más una molécula inhibitoria de la nitrificación haría que el proceso de nitrificación (conversión de amonio a nitrato) se ralentizara y el N permanece durante más tiempo en forma de amonio que es retenido por las arcillas del suelo, no siendo susceptible de ser lixiviado y perdido como nitrato. Otro ejemplo es el de la urea más un inhibidor de la ureasa (enzima que degrada la urea a amonio), sustentando su efectividad en que se ralentiza la degradación de urea a amonio evitando las pérdidas por volatilización (Chaves 2016a, 2021j).
- 26) En casos calificados pueden emplearse con el fin de reducir la nitrificación y, por tanto, la emisión de óxido nitroso ( $N_2O$ ) originada por los fertilizantes orgánicos, inhibidores de la nitrificación (ureasa); como acontece con los ácidos húmicos.
- 27) Es conveniente el empleo de formulaciones bien concentradas en nutrientes que reduzcan la cantidad de sacos que se deben adquirir, transportar, almacenar, llevar al campo y distribuir en la plantación, lo cual sin lugar a duda impacta los costos y dificulta la operación técnica; en el caso de los productos fosforados esta medida es muy positiva. Usar fórmulas concentradas resulta más económico, operativo y funcional. Es un hecho conocido que la cantidad de sacos aumenta de manera paralela con la reducción de la concentración.
- 28) El uso de formulaciones simples (urea, nitrato de amonio, cloruro y sulfato de potasio, etc.) no aportan por lo general otros nutrimentos adicionales necesarios para la nutrición integral de la planta como acontece con la suplencia de P, K, Ca, Mg, S, Zn, B; lo cual, dependiendo del plan o programa de fertilización previsto cumplir, puede resultar contraproducente y hasta productivamente negativo. Caso se utilicen fórmulas simples resulta obligado complementar con opciones que contengan otros nutrimentos también esenciales adicionales, lo que implica tener que combinar o fraccionar las aplicaciones.
- 29) Importante considerar y tener muy presente al seleccionar y adquirir un fertilizante, que el contenido de más nutrimentos en la formulación comercial no significa ni implica en absoluto, que necesariamente se cuente con un beneficio nutricional mayor, pues ello depende en definitiva del grado de concentración de estos. Acontece que muchas veces los contenidos y concentraciones nutricionales se reducen a trazas como sucede sobre todo con micronutrimentos como el Boro (B) y el Zinc (Zn). Debe por lo tanto tenerse mucho cuidado y prudencia en este aspecto y no caer en el error de incorporar fórmulas más de corte comercial que técnico.
- 30) Dando por conocidas las necesidades nutricionales básicas del cultivo y previo de suministrar el fertilizante mineral, es

sano y muy conveniente considerar la factibilidad de utilizar fuentes apropiadas y aprovechables por el cultivo, como son entre otras: a) aporte del suelo con base en su contenido de materia orgánica y su fertilidad natural, b) la contribución de los abonos orgánicos, c) el empleo de leguminosas y abonos verdes como fuente de N en este caso y d) el aporte de los restos biomásicos de cosecha (RAC). El manejo cíclico de los recursos generados y disponibles en la finca como sistema cerrado resulta importante de desarrollar, pues es una forma viable de reincorporar al suelo mucho de los nutrientes removidos y extraídos con las cosechas y contrarrestar con ello la degradación (Chaves 1986, 1999b, 2017a, 2020abcfg).

- 31) Como señalara y comentara Chaves (2021c), la capacidad de la caña de azúcar para fijar nitrógeno atmosférico bajo ciertas condiciones especiales es una realidad; además de que la incorporación de leguminosas al sistema productivo de la caña es muy conveniente, sea operando como cultivo asociado o mediante la implementación de un sistema planificado de rotación de cultivos (caña-leguminosa) apropiado (Chaves 2020fg).
- 32) Incrementar los sumideros de carbono por medio de la intensificación de la rotación, la asociación intercalada de cultivos y la incorporación al sistema de producción de cultivos de cobertura apropiados, constituye una excelente práctica agronómica por adoptar. La adopción de estas prácticas será de gran utilidad y beneficio económico para el agricultor, pero sobre todo para el suelo y la plantación (Chaves 2020a).
- 33) La recarbonización del suelo y con ello la activación biótica del mismo, representa un desafío por resolver y una meta visionaria por alcanzar en el corto plazo, lo cual implica la incorporación de fuentes biomásicas orgánicas de calidad; entre las cuales no hay duda de que el “*biochar*” como enmienda al suelo viene a ser una opción efectiva que contribuye ostensiblemente con la disminución de las emisiones de GEI en los suelos tropicales. El problema se encuentra actualmente en la disponibilidad de producto comercial suficiente para atender las necesidades nacionales, lo cual obliga incorporar un escalamiento productivo.
- 34) Es muy importante valorar y diagnosticar la posibilidad de utilizar pragmática y correctamente residuos o materias de origen orgánico disponibles en la zona donde se ubica la plantación; los cuales una vez identificados y conocida su composición y calidad nutricional, puede establecerse un programa que ubique origen, naturaleza, cantidad, periodicidad y preparación requerida con el fin de lograr un correcto escalamiento, reparto, distribución y dosificación del mismo en las plantaciones comerciales que así lo requieran. Los costos implícitos son determinantes en esta

materia razón por la cual deben estimarse con mucha precisión.

- 35) El problema surgido con las pérdidas nutricionales acontece y se da tanto en fuentes de origen y naturaleza orgánica como también mineral, lo cual justifica la adopción y protocolización de medidas preventivas y correctivas que aseguren un empleo racional, juicioso y óptimo de las mismas. Como se anotó al inicio (Punto #19), el origen y naturaleza orgánica de un material no exime, como muchas veces se cree, del problema de sufrir pérdidas importantes de su contenido nutricional, como acontece por ejemplo con la volatilización del N como  $\text{NH}_3$  y las pérdidas como  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{N}_2\text{O}$  y NO.
- 36) Se recomienda en lo posible incorporar los residuos orgánicos de cosecha de las plantaciones comerciales de caña con el fin de mejorar la condición física y de fertilidad del suelo; para lo cual se pueden utilizar abonos verdes (Chaves 2020fg). Para incrementar su potencial nutricional, es conveniente y necesario reducir en lo posible el tamaño del material orgánico mediante el empleo de “*picadoras*”, con lo cual se incrementa la superficie específica y favorece su mineralización.
- 37) No debe desconocerse la importancia de estimar en lo que sea técnicamente factible, la cantidad de nutrimentos, en especial N, que posee naturalmente el suelo y es potencialmente capaz de proveer y suministrar como aporte al medio.
- 38) No es secreto y menos novedad concebir que la cantidad de nutrientes por aplicar con la fertilización opera en relación directa con el estado de fertilidad actual que presenten los suelos de la finca, con las características bióticas y abióticas del entorno agroproductivo, la variedad de caña cultivada, la edad y el ciclo vegetativo de la plantación (planta-soca), la expectativa productiva que se establezca como aspiración empresarial y meta productiva por alcanzar; así como también, la capacidad de inversión dispuesta incorporar en el proyecto productivo. Hay límites y restricciones en esas variables que definen el potencial agroindustrial posible alcanzar; materia en la cual se debe ser optimista pero también muy realista y objetivo en evitar operar bajo escenarios inviables.
- 39) No puede haber duda en aceptar que la dosis por aplicar (kg/ha) de cualquier nutrimento, debe incuestionablemente estar sustentada en criterios objetivos basados en el análisis fisicoquímico de los suelos y foliares de ser viable; así como también en los resultados experimentales y experiencias productivas consolidadas obtenidas en las localidades donde se ubica la plantación. Las extrapolaciones y recomendaciones procedentes de otras regiones y zonas cuyas características de suelo, clima, variedades y manejo son diferentes, simplemente no caben y son inconvenientes.

- 40) Tener muy presente que aplicar más fertilizante no necesariamente asegura más productividad agroindustrial, pero sí de fijo más costo. Puede, más bien por el contrario, generarse algún antagonismo con otros elementos por simple efecto de masas en el medio que repercute negativamente sobre la producción.
- 41) La distribución y aplicación del nutrimento en el momento fenológico apropiado y de mayor absorción conduce a mitigar las pérdidas y potenciar su eficiencia; posibilitando con ello disminuir la dosis necesaria incorporando impactando consecuentemente de manera favorable el costo asociado. Es conocido que la mayor absorción y necesidad de P coincide con los periodos iniciales de germinación, retoñamiento, desarrollo del sistema radicular y crecimiento biomásico, razón por la cual se le denomina y conoce “*enraizador*”; en tanto que el N armoniza muy bien con la fase de más rápido crecimiento de la plantación y hasta su cierre antes de los 6 meses (180 días) en ciclos anuales. El K es más accesible y flexible pues por su función y acción enzimática opera durante todo el ciclo vegetativo, siendo importante en la fase de maduración y concentración de sacarosa por su incidencia sobre la enzima invertasa neutra (básica). Puede por esto asegurarse, que cada nutrimento debe ser ubicado y aplicado de acuerdo con su función y funcionalidad en el medio y en la planta.
- 42) Debe evitarse en lo posible realizar aplicaciones tardías del fertilizante, esto por cuanto luego de 90 días de ocurrida la siembra o la cosecha en un ciclo anual, ya las funciones principales, objetivo de la práctica han pasado y el efecto puede ser por el contrario contraproducente con el fin procurado. De todas formas, con una plantación ya crecida y cerrada la adición del insumo será muy desuniforme y difícil de realizar encareciendo y tornando menos eficiente la misma. En ciclos de 18 a 24 meses el tiempo ideal de adición puede prolongarse hasta los 6 meses (180 días).
- 43) Las plantaciones de caña donde se deben concentrar e intensificar las acciones técnico-administrativas de ahorro y uso eficiente de los fertilizantes minerales, son principalmente las de regadío, en consideración de la intensidad que mantienen en la producción de biomasa y las necesidades nutricionales.
- 44) El agua es un factor clave e incuestionable para intervenir y mitigar las emisiones de GEI en los insumos nitrogenados, motivo por el cual, el riego puede ser empleado para reducir los flujos. El adecuado manejo del agua resulta fundamental para lograr una buena eficiencia de los nutrientes aplicados al suelo, especialmente cuando la textura es arenosa, favoreciendo la infiltración debido al espacio poroso.
- 45) Se ha demostrado una buena eficiencia nutricional mediante la fertirrigación y el empleo de sistemas de riego espacialmente localizados; lo que motiva y recomienda la utilización del riego por goteo, pues el nutriente es colocado donde puede ser absorbido por la raíz, además de que la humedad mitiga y reduce las emisiones de GEI a la atmósfera en el caso del N. Es conveniente el uso de riego luego de realizar la fertilización.
- 46) Se debe evitar el “*encharcamiento*” del suelo durante el riego de la plantación, pues la desnitrificación se vería favorecida y con ello la pérdida de N.
- 47) La agricultura de precisión como herramienta viable y factible de utilizar, ofrece la posibilidad de racionalizar y optimizar el empleo de los nutrientes en cuanto a cantidad dosificada e incorporada, sea por la vía de la precisión en su colocación y distribución en el lote o mediante el empleo de modelos complejos de decisión aplicados de modo automático. Esta es sin duda una moderna opción tecnológica interesante y necesaria para ingresar ahorros significativos en el rubro de los fertilizantes minerales.
- 48) Se ha encontrado que la agricultura de precisión posibilita economizar nutrientes (N-P-K), en primera instancia por la mayor precisión de los equipos utilizados, que al ser orientados por medio de un sistema GPS permiten lograr ahorros de hasta un 5% del fertilizante aplicado, al evitar aplicaciones innecesarias y poco aprovechables (áreas sin plantas, cantidades diferenciadas). Como anotara Chaves (2021f), “*Es notorio que cada vez se utilizan en la agricultura equipos mecánicos con mayor anchura y amplitud de trabajo (24, 36 m, etc.), lo que dificulta la ubicación y orientación del productor en el campo. Con el posicionamiento mediante GPS y los sistemas de orientación automática, la circulación en la plantación se da con gran precisión. En este sentido es bueno saber que existen ya modelos que incorporan el uso de mapas de fertilización intraparcularia, las cuales cuentan con un gran número de capas de información sobre: características del suelo, curvas con altitudes, mapas de cosecha potencial, estado nutricional del cultivo, entre otros.*”
- 49) La correcta y adecuada calibración y manejo de la abonadora mecánica cuando es utilizada es fundamental para lograr un uso eficiente y óptimo del fertilizante aplicado en la plantación. Lo deseable e ideal es poder contar con prototipos como son las modernas abonadoras de dosificación (tasa) variable que dosifiquen de acuerdo con la necesidad particular del área tratada. En el caso de las aplicaciones manuales cabe también revisar, controlar y fiscalizar el concepto, asegurando que, en lo posible, la adición de los fertilizantes en el campo sea equilibrada y homogénea.
- 50) A pesar de contar con una alta solubilidad y capacidad de movilidad en el suelo, se recomienda por seguridad, certeza y agilidad ubicar el fertilizante aplicado muy próximo a la zona de raíces absorbentes; esto es muy cerca de la banda

de plantas y preferiblemente incorporado al suelo y tapado (5 cm) con tierra; sobre todo si el terreno presenta algún grado de pendiente, hay altas temperaturas, el pH es alto o hay posibilidades de lavado y erosión. No se recomiendan las aplicaciones al voleo por elevar la posibilidad de incurrir en pérdidas por volatilización del N (Angulo, Chaves y Guzmán 1996).

- 51) Adicional a los factores indicados anteriormente y señalados como de carácter primario virtud de su relevancia, existen otros elementos complementarios que también influyen de forma determinante en la eficiencia y efectividad de la fertilización y los fertilizantes incorporados, tal como indicara Chaves (2021b) al mencionar los siguientes: a) condiciones climáticas prevaletientes en el lugar, b) grado de humedad contenida en el suelo, c) variedad de caña sembrada, d) número de cosechas realizadas a la plantación (planta-soca), e) edad (meses) del plantío, f) plantación dispuesta para ser empleada para semilla y no materia prima para la fábrica, g) fertilización complementaria, h) empleo de fuentes bajo la modalidad foliar, i) acondicionamiento y corrección previa y apropiada de los suelos, j) grado de pendiente dominante en la plantación, k) forma de aplicación del producto (manual, mecánica) y l) costo del fertilizante.
- 52) En consideración de su necesidad e impacto sobre las mejoras por implementar se considera necesario aprovechar y hacer uso de los servicios de asesoramiento técnico especializado existentes y ofertados por el Departamento de Investigación y Extensión de la Caña de Azúcar (DIECA) y el MAG en esta materia; asociados a programas de asistencia técnica y transferencia de tecnología. En estas materias de contenido técnico complejo no cabe la improvisación ni tampoco vale la experiencia sin conocimiento especializado.

### Conclusión

La experiencia agronómica y empresarial de muchos años ha demostrado que los fertilizantes constituyen posiblemente uno de los factores de la producción más limitante que afecta e impacta los rendimientos agroindustriales de la caña de azúcar; tanto en sentido positivo incrementándolos, como negativo en sentido contrario al no incorporarlos, lo que se agrava con el tiempo caso de mantener un estado permanente de desnutrición. Representan además uno de los insumos de mayor costo e incidencia en la inversión implicada en la producción de una plantación comercial competitiva y rentable de caña de azúcar. Es por esta razón necesario evaluar de manera apropiada las necesidades de fertilizantes para mantener un máximo rendimiento económico y disponer de forma oportuna y eficaz los nutrientes que permitan satisfacer las necesidades básicas necesarias de la planta.

La práctica tiene como objetivo primario restituir por una parte los nutrientes que las plantas extraen sistemáticamente del suelo para satisfacer sus necesidades metabólicas fundamentales y poder completar su ciclo vegetativo; como también, contribuir con el enriquecimiento del suelo cuando la concentración de uno o varios elementos sea insuficiente y limitante para asegurar la correcta nutrición y capacidad productiva de la plantación durante su periodo de uso comercial (5-6 cosechas). La carencia e insuficiencia tanto de macro como de micronutrientes en el suelo influye de manera muy negativa sobre los rendimientos de caña y azúcar (t/ha) y la concentración de sacarosa (kg/t) del cultivo, ya que afecta los procesos fisiológicos fundamentales como son la fotosíntesis y la síntesis de carbohidratos, la asimilación de nutrientes, de igual manera reduce la tolerancia a enfermedades, plagas y sequías. En definitiva, los fertilizantes repercuten de manera muy significativa no solo en la cantidad (toneladas) de biomasa cosechada sino también en la calidad de los jugos recuperados, lo que convierte una plantación en una inversión rentable o por el contrario antieconómica. La tasa de retorno de la inversión en fertilizantes esta por lo general asegurada, aunque un empleo óptimo de los mismos puede incrementarla significativamente; de eso se trata la gestión técnico-administrativa que busca su buen manejo y eficiencia de uso.

Pese a ser la fertilización una práctica agrícola relativamente muy sencilla de ejecutar en lo pragmático y concerniente a su aplicación en el campo, no resulta igual en lo pertinente a la selección de la mejor fuente, la definición de la dosis óptima requerida incorporar de acuerdo con las condiciones y necesidades específicas del lugar y la concomitancia con el mejor momento fenológico de la plantación. Esto revela que la fase previa de selección, cálculo y estimación es determinante y posiblemente la labor más importante en todo el proceso de fertilizar un campo agrícola. Esta razón es suficiente para requerir concentrar todo el esfuerzo técnico, profesional y administrativo en diseñar y establecer un plan y un programa de fertilización y nutrición acorde con las necesidades e implicaciones que la planta de caña de azúcar demanda y exige. Un programa nutricional bien concebido y formulado debe considerar y ponderar todos los elementos que intervienen y participan en su eficiencia, actividad y efectos, como son entre otros: la condición de acidez del suelo, el contenido de nutrientes presentes tanto macro como micro, la textura del sustrato, el tipo de relieve dominante, las condiciones particulares y específicas de clima del lugar, la variedad sembrada, el ciclo vegetativo de la plantación (planta-soca), el número de cosechas realizada en el caso de las socas, el estado de desarrollo y salud del sistema radicular, el grado de manejo tecnológico incorporado, la expectativa productiva esperada establecida bajo criterios realistas, objetivos y con base en el potencial del lugar y la inversión realizada en materia tecnológica. Es imperativo y obligado hacer un buen uso de los fertilizantes lo que implica conocer y controlar esos factores.

Es imperativo concebir y entender que fertilizar y nutrir una plantación agrícola son conceptos diferentes de un mismo proceso. La nutrición es un principio integral y de balance que vincula, articula y potencia todos los factores y elementos asociados con las necesidades fisiológicas y metabólicas básicas de las plantas, que le permiten completar satisfactoriamente su ciclo vegetativo. Fertilizar es el acto mecánico y pragmático de aplicar el fertilizante al suelo y la plantación. Como se infiere, la diferencia entre ambos términos es conceptualmente abismal, aunque los dos forman parte del mismo proceso y práctica agrícola. Lo que se busca con la fertilización es favorecer la nutrición de la plantación.

Los importantes y profundos avances conseguidos recientemente orientados a lograr al mejor entendimiento de la rizosfera, los compuestos orgánicos y los microorganismos asociados, tornan viable y posible la obtención y aplicación de bioabonos y sustancias promotoras del crecimiento vegetal generados a partir de hongos y bacterias benéficas que habitan en el suelo, y que pueden contribuir a incrementar la producción agrícola de una manera más ajustada a las condiciones que los consumidores y los mercados exigen actualmente. Es por ello, que el desarrollo de un sistema de producción de esta naturaleza apto para diferentes condiciones agroecológicas, podría contribuir con la producción de caña de azúcar de forma sostenible. Esto no inhabilita ni desvirtúa el empleo de los fertilizantes inorgánicos, simplemente es producir lo mismo bajo premisas y orientaciones diferentes.

Es una realidad que la sustentabilidad de los sistemas agrícolas proyectados en el mediano y el largo plazo debe fomentar y estimular el uso y manejo efectivo de los recursos internos disponibles y proveídos por los propios agroecosistemas. En este sentido, los biofertilizantes y bioestimuladores microbianos representan un componente vital de los sistemas sustentables por lo que deben investigarse y validarse comercialmente en el caso nacional.

El esperado y deseado incremento de la productividad de caña y azúcar (t/ha) requeridas para satisfacer las necesidades del sector cañero-azucarero nacional y las crecientes demandas de la población, puede ser resuelto no solo empleando insumos en forma creciente e indiscriminada; sino también de manera ecológica y sostenible, mediante el empleo de técnicas agronómicas que permitan el manejo racional, justo y óptimo de los agroquímicos e insumos orgánicos en cada finca. De esta forma será posible lograr una reducción significativa en el uso y la aplicación de productos químicos y su sustitución por técnicas que promuevan el suministro, la incorporación, la disponibilidad y la utilización de las reservas naturales de nutrientes disponibles en el suelo, incrementando los beneficios de la aplicación de biofertilizantes y sustancias promotoras del crecimiento vegetal. A esto contribuiría también el aporte de abonos orgánicos y productos órgano-minerales apropiados.

Es un hecho conocido, comprobado y muy discutido en la actualidad, que la producción industrial de fertilizantes inorgánicos sintéticos en el mundo posiblemente tendrá problemas de oferta y precio en el futuro, para poder satisfacer a cabalidad las necesidades de alimentos de una población mundial en constante aumento; lo cual se complica cuando se comprueba que dichas aplicaciones contribuyen ostensiblemente a contaminar el recurso hídrico, provocar la eutrofización de los reservorios de agua, afectar la biodiversidad y generar las crecientes emisiones de Gases con Efecto Invernadero (GEI) a la atmósfera. Es notorio también un aumento considerable en la utilización de fuentes de energía no renovables. Esta circunstancia provoca que actualmente se está imponiendo en la agricultura mundial el redimensionamiento en el uso de las biotecnologías, **entre ellas la de los biofertilizantes, por lo que Costa Rica y la agroindustria azucarera no pueden quedarse al margen, debe investigarse mucho en este campo.**

Cuadro 1. Detalle de los asuntos (18) vinculados con la nutrición y la fertilización que se estima afectan la productividad, la rentabilidad y la competitividad de la agroindustria azucarera costarricense en su fase de producción primaria.

Nº	NUTRICIÓN Y FERTILIZACIÓN	IMPACTO POTENCIAL ESPERADO
1	Actuar por influencia comercial y amiguismo, siguiendo un falso y equivocado sentimiento de modernidad	Actualmente hay pese a las incuestionables limitantes de rentabilidad, una enorme influencia y fomento al consumismo, lo que aplica también en materia de nutrición del cultivo de la caña, pues se recomiendan productos sin valoración previa ni justificación técnica debidamente comprobada por la investigación y validación de campo. Con productos foliares acontece esto, aún sin contar con una fertilización base equilibrada y satisfactoria de las necesidades primordiales del cultivo. Por ejemplo, se adiciona Silicio foliar pero no Potasio, Fósforo, Magnesio o el Nitrógeno que pueden estar presentes en condición de severa deficiencia. Hay que ser razonable con el marco de prioridades y necesidades.
2	Desconocimiento de las necesidades nutricionales básicas del cultivo	Se recomienda y fertiliza sin análisis de suelos previo ni conocimiento puntual de las condiciones de fertilidad actual del terreno. Si desconocemos que tenemos no podemos saber qué y cuanto necesitamos adicionar. La inversión resulta riesgosa sin la definición de necesidades basada en el análisis del suelo. La planta de caña de azúcar es muy especial y particular en sus necesidades nutricionales.
3	No realizar el acondicionamiento previo de los suelos	La actividad y disponibilidad para la planta de los nutrimentos adicionados con el fertilizante, se ven severamente limitados si el suelo no se corrige y acondiciona de previo. En suelos ácidos el encalado es obligado y en suelos calcáreos la adición de azufre resulta determinante y positiva. Esta acción favorece la microbiología del suelo y la disponibilidad de los nutrimentos para la planta.
4	Realizar una fertilización comercial nutricionalmente desbalanceada e incompleta	Los conceptos de nutrir y fertilizar una plantación comercial de caña de azúcar pueden ser muy diferentes, caso no se respeten principios básicos fundamentales, como son satisfacer los balances y equilibrios nutricionales. Una nutrición benéfica y juiciosa incorpora simultáneamente varios nutrimentos esenciales y no apenas unos pocos, lo cual hay que reconocer eleva los costos del insumo. Es común en caña aplicar solo Nitrógeno (N) y excepcionalmente Fósforo (P) a la siembra y Potasio (K) complementariamente. Sin embargo, la adición de Calcio (Ca), Magnesio (Mg), Azufre (S) y micronutrimentos de alta respuesta como el Zinc (Zn), entre otros, es baja, deficiente o simplemente no se da. El uso del Silicio (Si) viene siendo en la actualidad promovido, aunque aún se estima debe investigarse más. La planta de caña como cualquier ser vivo necesita contar con una nutrición satisfactoria para aspirar a generar altos tonelajes, caso contrario resulta difícil, máxime si el suelo es de baja fertilidad natural. La tasa de retorno es alta lo que debe valorarse e interpretarse durante la vida comercial de la plantación, la cual puede prolongarse.
5	Uso de fórmulas y formulaciones inadecuadas de fertilizantes	El punto anterior se satisface mediante el empleo de fórmulas fertilizantes completas, o en su caso, usando combinaciones nutricionalmente equilibradas. Los nutrimentos responden a procesos metabólicos muy particulares, razón por la cual deben adicionarse en el tiempo fisiológica y vegetativamente oportuno. No se debe fertilizar en cualquier momento con cualquier cosa, hay un régimen de necesidades y prioridades que satisfacer. El uso de formulaciones foliares debe manejarse con mucha prudencia en consideración de carecer de respaldo científico sólido que sustente su beneficio real.
6	Sub dosificar la adición de nutrimentos	Dosis bajas generan y mantienen deficiencias nutricionales con grado variable de severidad; estas a su vez implican procesos metabólicos insatisfechos que se traducen consecuentemente en bajas productividades. Sin energía no hay producción posible.
7	Aplicación de fertilizantes fuera del momento ideal	El desarrollo vegetativo y fenológico de la planta de caña implica la activación de mecanismos metabólicos diferentes para satisfacer actividades también diferentes (germinación, ahijamiento, crecimiento, maduración, reproducción, etc.), motivo por el cual la adición de los nutrimentos debe responder y coincidir plenamente con las necesidades propias de las fases del desarrollo de la planta. El P favorece energía y división celular, el N crecimiento vegetativo, el K coadyuva al N, lo cual debe considerarse al planificar un programa de fertilización comercial.
8	Fraccionar la adición del fertilizante es cara y un mal negocio	Ciertamente con fraccionar el fertilizante se incurre en más gasto por concepto de mano de obra; sin embargo, en condiciones de alta precipitación y aplicación de productos de alta solubilidad (nitrogenados), la posibilidad de pérdida por lavado y arrastre se torna real y de impacto productivo y económico significativo. El ahorro puede salir muy caro. La prudencia juega en este caso.

ADMINISTRATIVOS		
9	No planificar con sentido realista y progresista las acciones a desarrollar durante la zafra	La resultante de no planificar es elevar innecesariamente el nivel de riesgo, incurrir en gastos innecesarios y sufrir carencias por no disponer con la antelación debida los elementos necesarios: mano de obra, transporte, equipos, insumos, gastos, permisos, lo que se traduce de seguro en ineficiencia.
10	Trabajar por simple suposición y criterio personal	Poco cambio se tendrá, pues si se hace lo mismo se obtiene lo mismo de siempre. Los cambios actuales en todos los ámbitos son profundos y sensibles, lo que merece estudio.
11	Administración mediática y oportunista	Se violenta el concepto fundamental de la calidad y la excelencia, lo que afecta los resultados esperados.
12	Creer que todo lo sabe y la consulta es innecesaria	Se desaprovechan potenciales importantes generados y validados a partir de la investigación y la experiencia de otros. Se experimenta, arriesga y sufre innecesaria e irracionalmente con lo propio elevando el grado de inseguridad.
13	Desconocer con el grado de detalle necesario los gastos incurridos durante la gestión productiva	Ante la carencia y ausencia de un control de gastos efectivo todo resultara "caro" y la gestión se convertirá en "antieconómica" sin tener certeza de ello y no ubicar las causas. La reacción consecuente será posiblemente no invertir.
14	No llevar un registro histórico detallado de gastos, rendimientos y producción	Lo que no se mide no puede mejorarse. Sin registros no hay posibilidad de comparar y vincular gastos con rendimiento productivo. La lectura e interpretación de mejora en dicho caso es inconsistente, mediática, restrictiva y de validez limitada.
15	No trazar una ruta crítica previa de movimientos, acciones y necesidades por atender y resolver	Este vacío genera improvisación, torpeza, desgaste e ineficiencia en todos los órdenes. Si no sabemos dónde ir nunca podremos llegar. Forma parte de la planificación.
16	Carecer de un razonable plan alternativo emergente	Disponer preventiva y prudentemente de un "Plan B" es sano, pues resuelve con criterio y valoración previa situaciones que pueden tornarse graves caso se presenten.
17	Incorporar y utilizar tecnologías sin validación y comprobación previa	La extrapolación y adaptación tecnológica sin prueba previa es riesgoso virtud de que las respuestas esperables no necesariamente serán las mismas. Deben estimarse los costos involucrados. En la siembra de variedades este error es muy común y el impacto muy serio. La regla de tres en agricultura no opera ni debe utilizarse, por lo que la prudencia es una buena guía.
18	Trabajar siguiendo la premisa de "lo más barato"	Esta condición por lo general resulta cara, pues atenta y es contraria a la calidad. Cuando aplicada en semilla, agroquímicos, cosecha, etc., por lo común afecta la concentración y pureza de los productos, pues se reducen contenidos e ingredientes activos. El precio no es necesariamente un indicador válido y certero de calidad.

Fuente: Chaves (2015).

## Literatura citada

- Angulo, A.; Chaves, M.; Guzmán, G. 1996. **Efecto de la forma de colocación de tres fuentes de fertilizante nitrogenado sobre los rendimientos agroindustriales de la caña de azúcar, promedio de cuatro cosechas, en un Inceptisol de Cañas, Guanacaste.** En: Congreso Nacional Agronómico y de Recursos Naturales, 10, Congreso Nacional de Fitopatología, 3, Congreso Nacional de Suelos, 2, San José, Costa Rica, 1996. Memoria: *Suelos*. San José, Colegio de Ingenieros Agrónomos, Asociación Costarricense de Fitopatología y Asociación Costarricense de Suelos: EUNED, EUNA, julio. Volumen III. p: 154. *También en:* Congreso de ATACORI "Cámara de Productores de Caña del Pacífico", 10, Hotel Sol Playa Hermosa, Guanacaste, Costa Rica, 1996. Memoria. San José, Asociación de Técnicos Azucareros de Costa Rica, setiembre. p: 30.
- Bertsch, F. 1998. **La Fertilidad de los Suelos y su Manejo.** 1ª ed. San José, Costa Rica: Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo (ACCS). 157 p.
- Bertsch Hernández, F. 2003. **Absorción de nutrimentos por los cultivos.** 1ª ed. San José, C.R.: Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo (ACCS). 307 p.
- Chaves Solera, M.A. 1986. **Requerimientos, extracción y remoción de nutrimentos por la caña de azúcar.** Boletín Informativo DIECA (Costa Rica) Año 4, Nº 29, San José. p: 1-2.
- 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.; Alvarado H., A. 1994. **Manejo de la fertilización en plantaciones de caña de azúcar (Saccharum spp) en Andisoles de ladera de Costa Rica.** San José, Costa Rica. LAICA-DIECA, julio. 41 p. *También en:* Memorias. 15th World Congress of Soil Science. International Society of Soil Science (ISSS). Acapulco, México, del 11 al 15 de julio de 1994. Volumen 7a. p: 353-372.
- Chaves, M. 1999a. **Nutrición y fertilización de la caña de azúcar en Costa Rica.** En: Congreso Nacional Agronómico y de Recursos Naturales, 11, San José, Costa Rica, 1999. Memoria: *Recursos Naturales y Producción Animal*. San José, Colegio de Ingenieros Agrónomos: EUNED, julio. Volumen III. p: 193-214. *También en:* Participación de DIECA en el XI Congreso Nacional Agronómico y de Recursos Naturales. San José, Costa Rica. LAICA-DIECA, julio 1999. p: 46-67.

- 8) Chaves Solera, M. 1999b. **El Nitrógeno, Fósforo y Potasio en la caña de azúcar.** San José, Costa Rica. LAICA-DIECA, setiembre. 130 p.
- 9) Chaves, M. 1999c. **La práctica del encalado 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.
- 10) Chaves Solera, M.; Barrantes Mora, J.C. 2007. **Nutrición de la caña de azúcar en la zona sur de Costa Rica: experiencias continuadas durante el periodo 1986-2006.** San José, Costa Rica. LAICA-DIECA, setiembre. 30 p.
- 11) 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.
- 12) Chaves Solera, M. 2012. **Relaciones catiónicas y su importancia para la agricultura.** Revista Especializada Ventana Lechera, Dos Pinos. Fertilización: Práctica para mejorar la calidad y producción de forraje. San José, Costa Rica. Edición N° 18, Año 6, febrero 2012. p: 10-20.
- 13) Chaves Solera, M.A. 2015. **Errores y omisiones técnico-administrativas que sacrifican productividad y cuestan dinero en la agroindustria azucarera.** San José, Costa Rica. LAICA-DIECA, febrero. 16 p.
- 14) Chaves Solera, M.A. 2016a. **Estudio de 9 fuentes de Nitrógeno realizados en 6 regiones productoras de caña de azúcar de Costa Rica: compendio de resultados.** Liberia, Guanacaste, Costa Rica, abril. Presentación Electrónica en Power Point. 107 láminas.
- 15) 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.
- 16) Chaves Solera, M.A. 2017b. **Sinergismo N-K y productividad agroindustrial de la caña de azúcar en Costa Rica.** En: Congreso Nacional de Suelos, 9, San José, Costa Rica, 2017. Memorias. San José, Costa Rica, Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo (ACCS), octubre 25 al 27, Hotel Crowne Plaza San José Corobici. 7 p.
- 17) Chaves Solera, M.A. 2017c. **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.
- 18) Chaves Solera, M.A.; Chavarría Soto, E. 2017. **Tipos de suelo y producción de caña de azúcar en Costa Rica: Primera aproximación taxonómica.** En: Congreso Nacional de Suelos, 9, San José, Costa Rica, 2017. Memorias. San José, Costa Rica, Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo (ACCS), octubre 25 al 27, Hotel Crowne Plaza San José Corobici. 6 p.
- 19) Chaves Solera, M.A. 2019a. **Momento ideal para fertilizar y nutrir la caña de azúcar.** Boletín Agroclimático (Costa Rica) 3(1): 4-5, mayo-junio.
- 20) Chaves Solera, M.A. 2019b. **Clima y ciclo vegetativo de la caña de azúcar.** Boletín Agroclimático 1(7): 5-6, julio.
- 21) Chaves Solera, M.A. 2019c. **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.
- 22) Chaves Solera, M.A. 2019d. **Ambiente agro climático y producción de caña de azúcar en Costa Rica.** Boletín Agroclimático (Costa Rica) 1(18): 5-10, noviembre-diciembre.
- 23) Chaves Solera, M.A. 2020a. **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.
- 24) Chaves Solera, M.A. 2020b. **Clima, degradación del suelo y productividad agroindustrial de la caña de azúcar en Costa Rica.** Boletín Agroclimático (Costa Rica) 2(15): 5-13, julio.
- 25) Chaves Solera, M.A. 2020c. **Clima y erosión de suelos en caña de azúcar en Costa Rica.** Boletín Agroclimático (Costa Rica) 2(16): 7-16, agosto.
- 26) Chaves Solera, M.A. 2020d. **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.
- 27) Chaves Solera, M.A. 2020e. **Clima, suelo y manejo: factores determinantes en la compactación de los suelos.** Boletín Agroclimático (Costa Rica) 2(20): 5-15, setiembre.
- 28) Chaves Solera, M.A. 2020f. **Materia orgánica y disponibilidad de nitrógeno para la caña de azúcar.** Boletín Agroclimático (Costa Rica) 2(21): 6-16, octubre.
- 29) Chaves Solera, M.A. 2020g. **Abono verde, consociación y rotación de cultivos en caña de azúcar.** Boletín Agroclimático (Costa Rica) 2(22): 5-19, octubre.
- 30) Chaves Solera, M.A. 2020h. **Clima, acidez del suelo y productividad agroindustrial de la caña de azúcar en Costa Rica.** Boletín Agroclimático (Costa Rica) 2(18): 8-17, agosto.
- 31) Chaves Solera, M.A. 2021a. **Estrés mineral y caña de azúcar en Costa Rica.** Boletín Agroclimático (Costa Rica) 3(11): 5-21, mayo.

- 32) Chaves Solera, M.A. 2021b. **Factores que intervienen y modifican la eficiencia y efectividad de la fertilización y los fertilizantes nitrogenados en la caña de azúcar.** Boletín Agroclimático (Costa Rica) 3(13): 5-20, junio.
- 33) Chaves Solera, M.A. 2021c. **Fijación biológica de nitrógeno atmosférico (N<sub>2</sub>) por la caña de azúcar: un importante potencial por aprovechar.** Boletín Agroclimático (Costa Rica) 3(15): 7-24, julio.
- 34) Chaves Solera, M.A. 2021d. **¿Cuánto Nitrógeno se aplica en las plantaciones comerciales de caña de azúcar en Costa Rica?** Boletín Agroclimático (Costa Rica) 3(17): 5-26, agosto.
- 35) Chaves Solera, M.A. 2021e. **Distribución geográfica de las plantaciones comerciales de caña de azúcar en Costa Rica según altitud y localidad.** Revista Entre Cañeros N° 20. Revista del Departamento de Investigación y Extensión de la Caña de Azúcar (DIECA). San José, Costa Rica. p: 5-35, julio.
- 36) Chaves Solera, M.A. 2021f. **Óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) y uso del nitrógeno en la caña de azúcar.** Boletín Agroclimático (Costa Rica) 3(19): 5-29, setiembre.
- 37) Chaves Solera, M.A. 2021g. **Nitrificación y pérdidas potenciales de nitrógeno en suelos cañeros.** Boletín Agroclimático (Costa Rica) 3(20): 6-24, setiembre.
- 38) Chaves Solera, M.A. 2021h. **Amonificación y volatilización de nitrógeno en suelos cañeros.** Boletín Agroclimático (Costa Rica) 3(21): 6-22, octubre.
- 39) Chaves Solera, M.A. 2021i. **Aluminio: un elemento contraproducente para la productividad y rentabilidad de la caña de azúcar.** Revista Entre Cañeros N° 21. Revista del Departamento de Investigación y Extensión de la Caña de Azúcar (DIECA). San José, Costa Rica, setiembre. p: 5-45.
- 40) Chaves Solera, M.A. 2021j. **Fertilizantes de liberación controlada, lenta y estabilizados para uso en la caña de azúcar.** Boletín Agroclimático (Costa Rica) 3(25): 6-23, noviembre-diciembre.
- 41) Epstein, E.; Bloom, A. 2006. **Nutrição Mineral de Plantas: Princípios e Perspectivas.** 2 edic. Trad. María Edna Tenório Nunes. Londrina, Brasil. Editora Planta. 403 p.
- 42) Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). 1998. **Guide to efficient plant nutrient management.** Land and Water Development Division Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome, Italy. 28 p.
- 43) Fassbender, H.W.; Bornemisz, E. 1994. **Química de Suelos con énfasis en suelos de América Latina.** Hans W. Fassbender y Elemer Bornemisz. 2ª. Ed. Rev. San José, CR: IICA. 420 p.
- 44) Malavolta, E. 1981. **Manual de Química Agrícola: Adubos e Adubação.** 3ª edic. São Paulo: Editora Agronômica Ceres Ltda. p: 31-96.
- 45) Mengel, K.; Kirkby, E. A. 2001. **Principles of plant nutrition.** 5th ed. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers. 849 p.
- 46) Montenegro Ballester, J.; Chaves Solera, M. 2011. **Contribución del sector cañero a la mitigación del cambio climático.** En: Congreso Azucarero Nacional ATACORI "M.Sc. Teresita Rodríguez Salas (+)", 18, Colegio de Ingenieros Agrónomos, San José, Costa Rica, 2011. Memoria. San José, Asociación de Técnicos Azucareros de Costa Rica (ATACORI), 8 y 9 de setiembre del 2011. 14 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)