

Periodo 30 de noviembre al 12 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 15 DE NOVIEMBRE AL 28 DE NOVIEMBRE

En la figura 1 se puede observar, a partir de datos preliminares de 113 estaciones meteorológicas, el acumulado quincenal de lluvias sobre el territorio nacional.

Los acumulados diarios de lluvia superiores a 19 mm se registraron en la región azucarera Región Norte durante el 28 de noviembre y para la Región Sur el día 22 de noviembre. Se tuvieron valores acumulados de lluvia diaria muy bajos en algunas regiones debido a la estación seca establecida en las regiones arroceras Guanacaste Este, Guanacaste Oeste y Valle Central. Las regiones que no superan los 7 mm de lluvia diaria fueron Guanacaste Este, Guanacaste Oeste, Valle Central, Puntarenas y Turrialba.



Figura 1. Valores acumulados de la precipitación (mm) durante la quincena del 15 de octubre al 28 de octubre del 2021.

PRONÓSTICO PARA LAS REGIONES CAÑERAS DEL 29 DE NOVIEMBRE AL 05 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; mostrando humedad media a lo largo de la semana y temperatura media variable con mínimos entre viernes y sábado. Guanacaste (Este y Oeste) presentará viento Este con su máximo el miércoles; así como contenido de humedad baja y temperatura media variable. Valle Central (Este y Oeste) tendrá viento del Este; con contenido de humedad baja-media; así como temperatura media variable. Para Turrialba (Alta y Baja) se prevé viento del Este y humedad alta; así como temperatura variable, con su mínimo el viernes. En la Región Sur se espera viento variable; con contenido de humedad media; así como temperatura media variable con su mínimo el viernes. Puntarenas mantendrá la semana con humedad media; con viento del Este, excepto el domingo que será variable (Este-Oeste); acompañado de temperatura media variable, con un máximo el miércoles.

“La semana inicia bajo el efecto del empuje frío #6 que se mantendrá hasta el miércoles. No se prevé el efecto de alguna onda tropical ni polvo del Sahara a lo largo de la semana.”

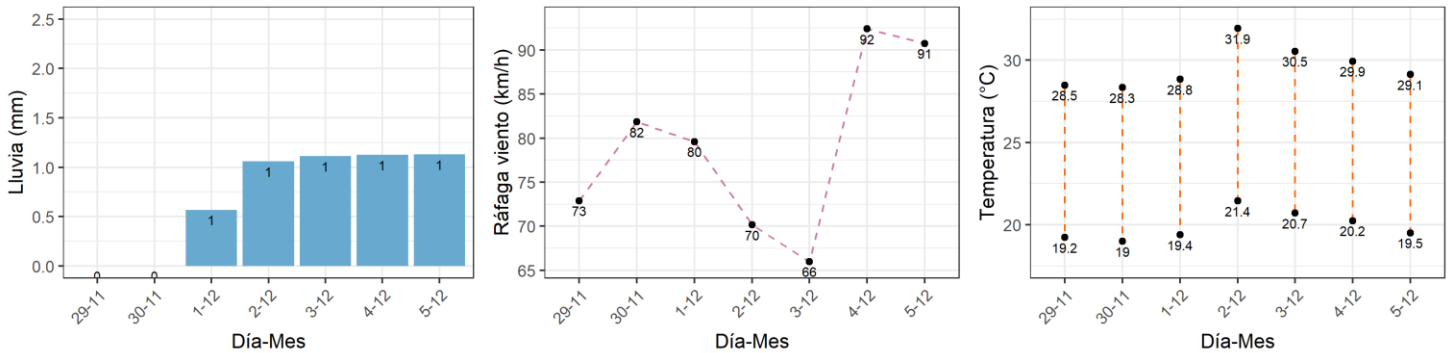


Figura 2. Pronóstico de precipitación (mm), viento (km/h) y temperatura (°C) para el periodo del 29 de noviembre al 05 de diciembre en la región cañera Guanacaste Este.

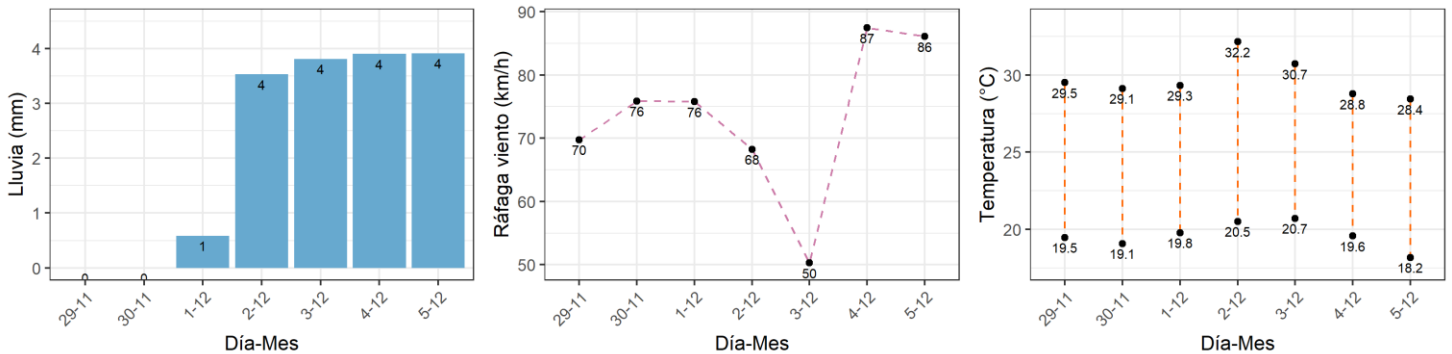


Figura 3. Pronóstico de precipitación (mm), viento (km/h) y temperatura (°C) para el periodo del 29 de noviembre al 05 de diciembre en la región cañera Guanacaste Oeste.

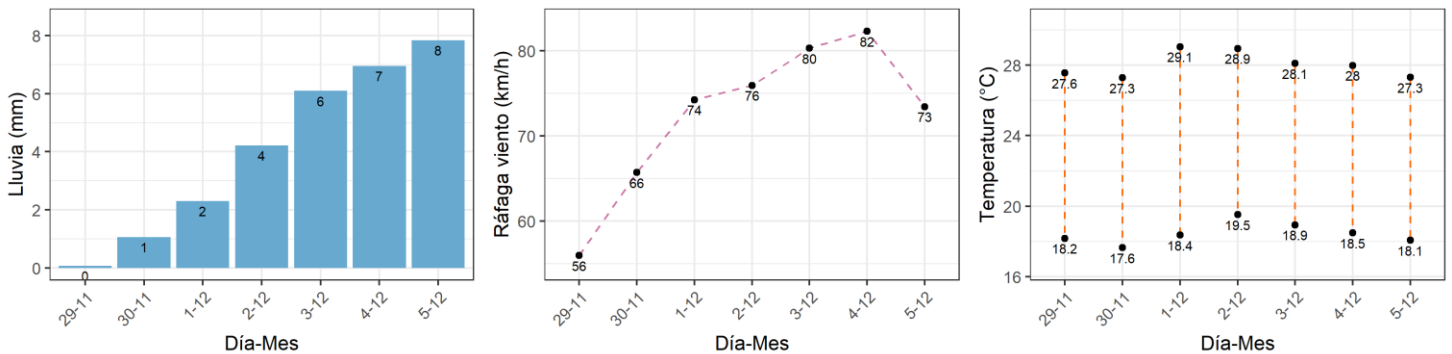


Figura 4. Pronóstico de precipitación (mm), viento (km/h) y temperatura (°C) para el periodo del 29 de noviembre al 05 de diciembre en la región cañera Puntarenas.

Noviembre 2021 - Volumen 3 – Número 25

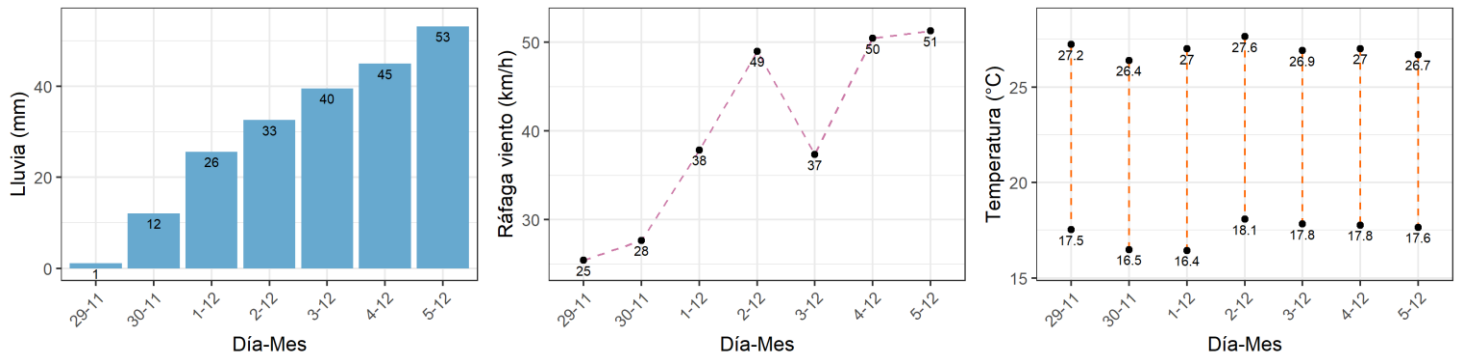


Figura 5. Pronóstico de precipitación (mm), viento (km/h) y temperatura (°C) para el periodo del 29 de noviembre al 05 de diciembre en la región cañera Región Norte.

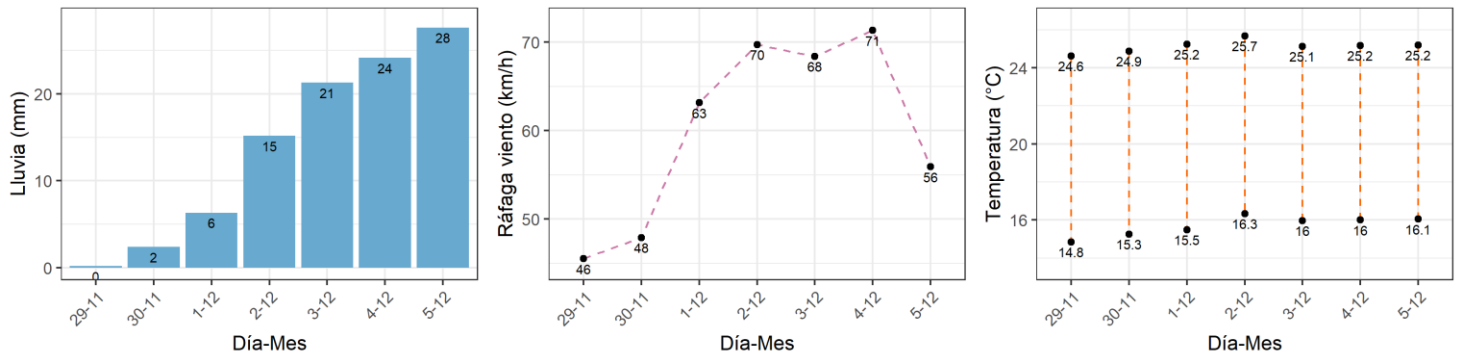


Figura 6. Pronóstico de precipitación (mm), viento (km/h) y temperatura (°C) para el periodo del 29 de noviembre al 05 de diciembre en la región cañera Valle Central Este.

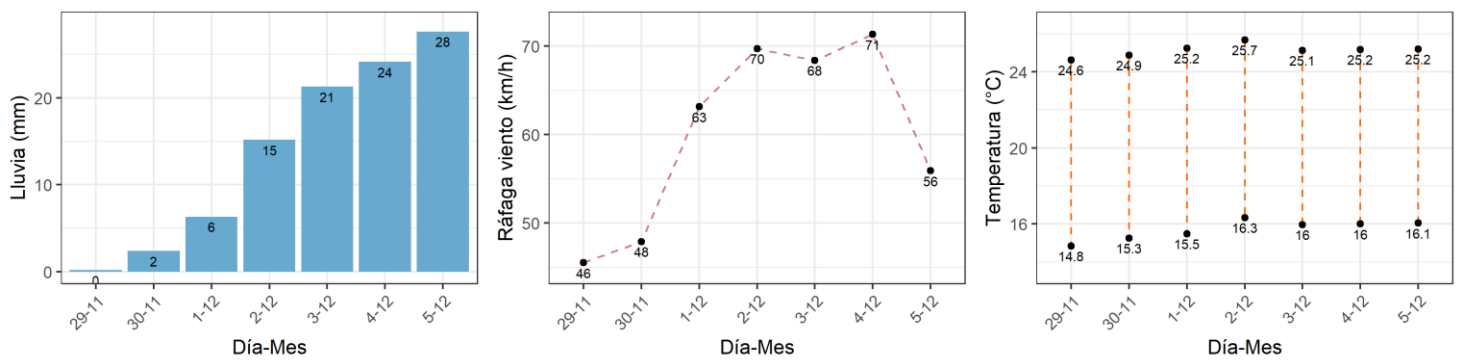


Figura 7. Pronóstico de precipitación (mm), viento (km/h) y temperatura (°C) para el periodo del 29 de noviembre al 05 de diciembre en la región cañera Valle Central Oeste.

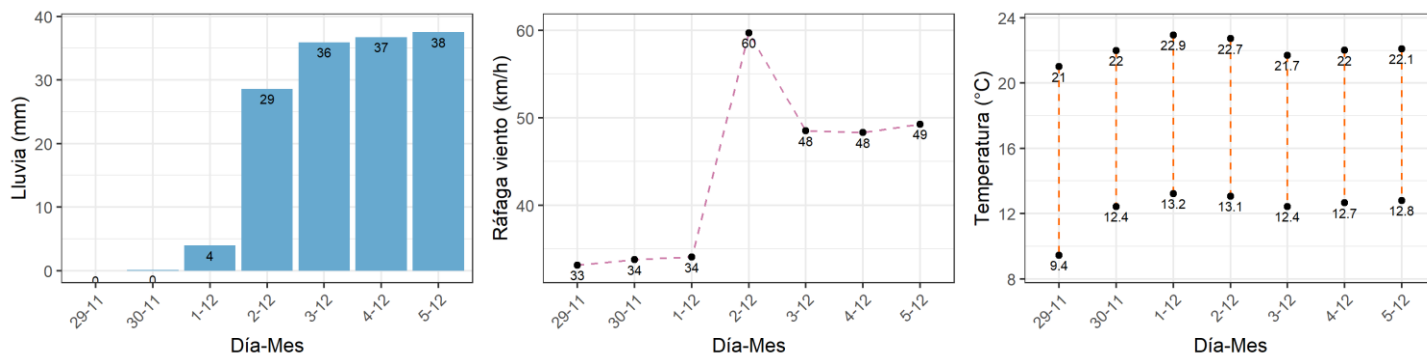


Figura 8. Pronóstico de precipitación (mm), viento (km/h) y temperatura (°C) para el periodo del 29 de noviembre al 05 de diciembre en la región cañera Turrialba.

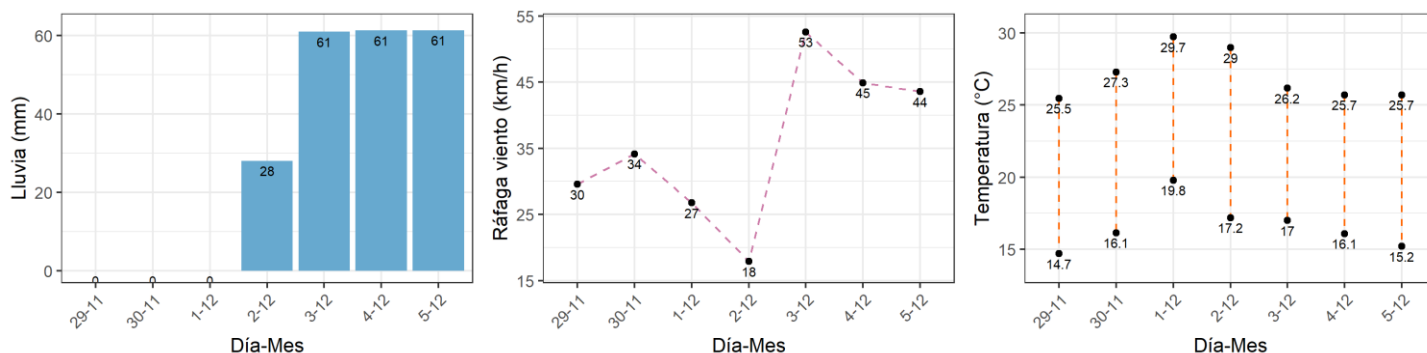


Figura 9. Pronóstico de precipitación (mm), viento (km/h) y temperatura (°C) para el periodo del 29 de noviembre al 05 de diciembre en la región cañera Región Sur.

TENDENCIA PARA EL PERIODO DEL 22 DE NOVIEMBRE AL 28 DE NOVIEMBRE

La Región Norte iniciará la semana con humedad media, viento del Este y temperatura variable; de forma que la semana mostrará condiciones normales para la época tanto en viento como en cuanto a lluvia. Guanacaste (Este y Oeste) iniciará la semana con viento del Este, además de contenido de humedad baja que incrementa particularmente el miércoles y temperatura variable; en tanto la semana completa evidenciará menos lluvias de lo normal y condiciones ventosas normales. Valle Central (Este y Oeste) iniciará la semana con viento del Este, humedad baja-media y temperatura media variable; de forma que la semana sea levemente menos lluviosa con viento normal. 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 sutilmente menos lluviosa con viento normal. En la Región Sur se espera un inicio de semana con viento variable entre Este y Oeste, condiciones de humedad media y temperatura media variable; donde se espera que la semana sea levemente menos lluviosas con viento normal para la época. Puntarenas iniciará la semana con humedad media, con viento mayormente del Este, además de temperatura media variable; esperándose una semana con condiciones sutilmente menos lluviosas de lo normal con viento 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, en la semana del 22 al 29 de se presentó una baja saturación en la mayoría de las regiones cañeras, las regiones Guanacaste Este y Oeste fueron las áreas con menor humedad. Por otro lado, la Región Norte y Región Sur fueron las zonas que presentaron mayor porcentaje de saturación durante toda la semana.

Como se observa en la figura 10, la Región Guanacaste Oeste presenta entre 0% y 60%, aunque la mayor parte de los suelos tienen entre 0% y 30% de saturación; la Región Guanacaste Este se encuentra entre 0% y 30%,

La Región Puntarenas está entre 15% y 45%, la Región Valle Central Oeste presenta entre 45% y 60% mientras que la Región Valle Central Este se mantiene entre 15% y 45%.

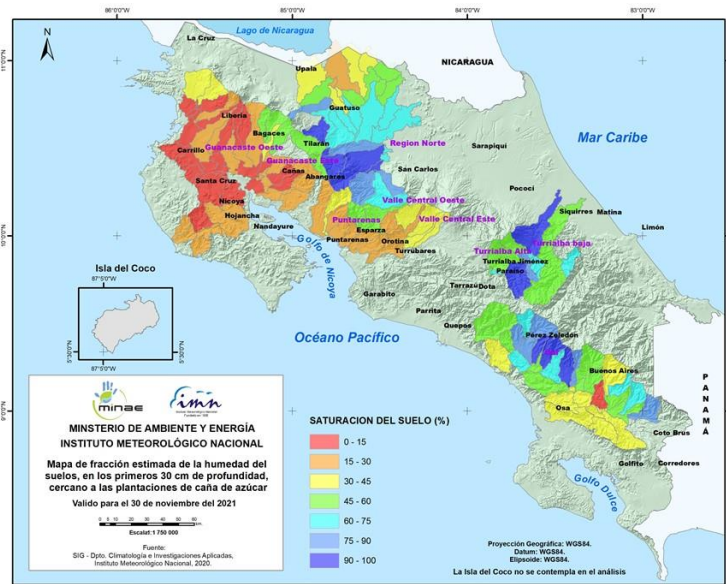


Figura 10. Mapa de fracción estimada de la humedad en porcentaje (%), en los primeros 30 cm de profundidad, cercana a las plantaciones de caña de azúcar, válido para el 30 de noviembre del 2021.

El porcentaje de la Región Norte está entre 15% y 100%, la Región Turrialba Alta (> 1000 m.s.n.m.) y la Región Turrialba Baja (600-900 m.s.n.m.) tienen entre 45% y 100%. La Región Sur varía entre 0% y 100% de humedad.

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

CRÉDITOS BOLETÍN AGROCLIMÁTICO

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

Modelos de tendencia del Departamento de
 Meteorología Sinóptica y Aeronáutica

INSTITUTO METEOROLÓGICO NACIONAL

NOTA TÉCNICA

Fertilizantes de liberación controlada, lenta y estabilizados para uso 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

No hay duda de que la nueva coyuntura llena de límites y estrictas restricciones en la que se movilizan hoy día, con tendencia a agudizarse con el tiempo, las relaciones comerciales a nivel nacional y mundial demandan y obligan a la implementación de nuevas medidas y acciones en todos los órdenes impuestos por los cada vez más exigentes consumidores, sean en las áreas mercantil, financiera, legal, administrativa, de salud y también tecnológica. En el caso particular de la agricultura las condiciones y demandas son cada vez más taxativas, específicas y restrictivas, virtud de representar una fuente de contaminación importante y, también, ser paradójicamente la generadora de los recursos alimenticios básicos que dan sustento a la población.

En este orden de cosas los nuevos retos y desafíos que sustentan la competitividad de las actividades agropecuarias en la actualidad, no se restringe apenas producir más y lograr la mayor rentabilidad de la empresa agropecuaria, como estableció la ecuación comercial que rigió por tradición el agro por mucho tiempo. En la actualidad se agregan e imponen, además, otros elementos complejos asociados con la calidad, la ecoeficiencia, la biodiversidad, la responsabilidad social-empresarial contenidos en los principios irrenunciables de la sostenibilidad. En las circunstancias vigentes, cualquier sector productivo, empresa o agro empresario que pretenda posicionarse y ser exitoso en su gestión mercantil debe inexcusablemente adaptarse a las nuevas y exigentes reglas que regulan el accionar económico y comercial de los mercados de destino y consumo. Accionar por otra vía, es simplemente violentar lo vigente y exponerse a fracasar (Chaves y Bermúdez, 1999).

En este contexto tan particular y especial, la agricultura en general y por ende la actividad cañero-azucarera costarricense deben insoslayablemente modificar, ajustar y adecuar sus procesos productivos y operativos al nuevo orden comercial mundial, entre las cuales se tienen algunas labores y actividades calificadas como inconvenientes y hasta agresivas, propias de su sistema de producción agrícola y fabril, que de manera ordinaria se han venido realizando en forma continua y sistemática y se estima, deben superarse (Chaves, 2015). Hoy esas prácticas deben pasar a formar parte del pasado y ser alineadas hacia las nuevas rutas de la modernidad. En esta nueva realidad, actividades productivamente trascendentes como es el caso particular de la nutrición del cultivo y sus plantaciones, operada por medio de la fertilización y la adecuación y corrección de los suelos resulta determinante. Esto por cuanto y como ha sido ampliamente

comentado y desarrollado por Chaves (2021def) y Montenegro y Chaves (2011, 2012), algunas de esas prácticas son generadoras de Gases con Efecto Invernadero (GEI), con lo cual contribuyen activamente al dinámico e impactante cambio climático, que tanta afectación ha provocado y viene aumentando a la sociedad, la agricultura, la agroindustria azucarera y a la calidad de vida de las familias y las poblaciones. Lo más grave de todo es que la afectación de infraestructura y plantaciones comerciales de caña de azúcar por parte de los elementos del clima se torna cada vez más agreste, agresiva y creciente contra los sistemas agrícolas regionales en grado diferencial; lo que augura, de no adoptarse y aplicarse los correctivos necesarios en tiempo, en lamentables y sentidos impactos y pérdidas cuantiosas y onerosas.

Siendo consecuentes con esta circunstancia tan actual, real y preocupante, se aborda, expone y desarrolla a continuación en el presente documento, el tema de la práctica de la fertilización con enfoque principalmente hacia los productos nitrogenados generadores de las emisiones de GEI a la atmósfera. Se informa sobre los modernos fertilizantes de liberación controlada, lenta y estabilizados actualmente en boga y con amplio uso potencial en la caña de azúcar, con lo cual se contribuiría ostensiblemente a reducir y mitigar la emisión de gases que con la adición de nutrientes se generan en el campo. Vale mencionar y reconocer que la relevancia en cuanto a magnitud de dichas emisiones corre por la dimensión del área sembrada y fertilizada, y no por la cantidad unitaria liberada al medio, sea por la intensidad o ineficiencia de las aplicaciones en campo.

Preocupación por el ambiente

Como se insinuó y anotó anteriormente, el tema ambiental sigue siendo un asunto trascendente y de primer orden en el mundo actual, esto pese a que incuestionablemente los efectos y las graves consecuencias sanitarias, económicas y sociales provocadas por causa de la pandemia surgida por el Covid-19, ha posicionado este problema en el primerísimo lugar de la lista de preocupaciones mundiales y asuntos mediáticos por atender y resolver en el corto plazo. No cabe duda de que la preocupación por lo que acontezca con el ambiente y su entorno en el futuro, sigue siendo un tópico particularmente fuerte que intranquiliza a todos, y no apenas un tema de retórica y demagogia mediática y coyuntural, como parece algunas veces interpretarse. Las proyecciones más recientes sobre los impactos provocados por el cambio climático a nivel mundial parecen revelar que nos dirigimos

peligrosamente hacia un desastre medioambiental de grandes proporciones, a menos que se induzca un cambio rápido y profundo en nuestros hábitos ordinarios y rutinas actuales. El manejo de la agricultura y muchas de sus prácticas y actividades habituales y tradicionales no queda ni esta para nada fuera de esta agenda.

Argumentar y procurar justificar la incuestionable importancia y necesidad de conservar el ambiente y los recursos naturales pareciera ser innecesario y hasta irrelevante, pues es claro que su valor se encuentra sustentado en que es el hábitat obligado de la humanidad, brinda adicionalmente sustento a la diversidad biológica y provee protección, asidero, soporte y condiciones apropiadas para todo lo que existe hoy en día en el planeta tierra. Asimismo, constituye la fuente proveedora de los recursos bióticos y abióticos básicos para la manutención de la vida, como son el aire, el agua, el suelo, las plantas, los animales y, lo más importante, como son los alimentos y las materias primas utilizadas para fabricar todo lo que se utiliza en la actualidad. La calidad de vida del ser humano está estrechamente ligada al ambiente y los elementos que lo conforman. Por estas y otras razones, todas las sociedades deben asegurar y garantizar para su propio beneficio y existencia, el cuidado, manutención y estabilidad de estos, haciendo uso racional de todos los recursos disponibles. Es imperativo entender que en la medida que se destruya el ecosistema, se está terminando con la calidad de vida de las generaciones presentes y futuras; esa es una verdad irrefutable e irrefutable.

Resulta razonable, sensato y oportuno para ubicar y contextualizar la situación reiterar lo señalado por Chaves (2021e) en ocasión anterior en relación al tema ambiental, al señalar sobre el tópico abordado, que *“En torno a esta sentida y razonable preocupación, expresa Chaves (2021d) con absoluta convicción, que “Una población cada vez mayor en el mundo se siente perturbada, preocupada y muy alarmada ante la seria amenaza que para la naturaleza y el ambiente, y por ende para la estabilidad y calidad de vida de toda la humanidad, significa e implica el alto grado de contaminación, polución, degradación, pérdida de recursos naturales y biodiversidad que de manera sistemática y creciente se viene observando y que están impactando los ecosistemas. Dicho efecto es promovido y provocado en lo esencial por muchos (no todos) los procedimientos empleados en las actividades y prácticas urbanas, comerciales, industriales y también agrícolas. Los estudios revelan con angustiosa contundencia que, de mantenerse esta tendencia, el sistema en poco tiempo no será sostenible, con las graves consecuencias que ello significa e implica para todos. Son conocidos y muy lamentables los efectos negativos que el denominado “cambio climático” viene provocando en la actualidad a nivel mundial.*

Estos impactos y amenazas son diversos en su origen, características y consecuencias, lo que involucra factores bióticos y abióticos que como se indicó ocasionan efectos por contaminación (hídrica, atmosférica, edáfica, sónica), polución, destrucción de hábitats, agotamiento de los recursos minerales y biológicos que disminuyen la biodiversidad, cambios de fondo en la pauta climática por causa de la combustión de

combustibles de origen fósil y con ello el calentamiento global (efecto de invernadero), el agotamiento de la capa de ozono, la desertificación, la erosión y la degradación sistemática de los suelos. La relación e interacción de esos elementos es causante como se ha demostrado, de serios problemas de estrés y salud pública que van lamentablemente en detrimento directo de la calidad de vida de la humanidad.”

Todas las empresas, en particular y de manera especial las orientadas a la producción de alimentos deben considerar que los gustos y preferencias de los consumidores han cambiado radicalmente en el muy corto plazo, incorporando en la decisión personal de adquisición, compra y consumo con nuevos indicadores que tipifican un producto sano, de alta calidad y producido de manera sostenible con alto contenido ambiental. La realidad revela que se viene sistemáticamente produciendo un “profundo” cambio en el perfil de los consumidores, que buscan, exigen y premian “hoy más que nunca un consumo sano y responsable”; reconociendo que actualmente el consumidor “está más informado y concienciado que nunca, con respecto a la importancia del ambiente”.

En alusión directa al tópico apuntado en el presente artículo, anota el mismo autor (Chaves, 2021e), que *“Acontece que cuando en la producción de alimentos se abona la tierra con el objeto de mejorar la condición del substrato e incrementar con ello los rendimientos agropecuarios y agroindustriales, para satisfacer las crecientes necesidades alimentarias de la población, se utilizan grandes cantidades de fertilizantes orgánicos y predominantemente sintéticos, formulados de acuerdo a las diferentes necesidades del campo. Entre esos insumos, los productos nitrogenados tienen especial relevancia virtud de su efecto favorable sobre la productividad y la calidad de los alimentos por la proteína que aportan cuando son bien utilizados. Es conocido y está comprobado, sin embargo, que lamentablemente la impericia y el uso excesivo de fertilizantes bajo premisas y expectativas equivocadas ha venido generando graves consecuencias ambientales de enorme impacto a los ecosistemas, como lo señalara con gran detalle Chaves (2021d); las cuales se generan principalmente por pérdidas de N por gasificación en forma de amoníaco (NH₃), óxidos de nitrógeno (NO_x) muy reactivos, como es el caso del óxido nitroso (N₂O) y lavado de nitratos (NO₃⁻) y nitritos (NO₂⁻), entre otras.”*

Es por todo ello imperativo, necesario y obligado ofrecer ahora nuevas y mejores opciones y alternativas tecnológicas comerciales a los agricultores, que les permitan ajustar sus sistemas de producción de alimentos, entre ellos la caña de azúcar, a las exigentes necesidades actuales; lo que aplicado al caso particular de la nutrición de cultivos se traduce en productos fertilizantes apropiados para abonar los suelos que ocasionen menos pérdidas por volatilización, amonificación, nitrificación, inmovilización, desnitrificación y contaminación, entre otras. La práctica debe adecuarse y optimizarse en todos los órdenes en función de las necesidades ambientales y comerciales vigentes: esa es la meta y el desafío actual que la tecnología debe atender y resolver con prontitud.

Tipos y modo de acción de los fertilizantes

Los fertilizantes también conocidos en forma coloquial y popular como “abonos” son materiales exhibidos comercialmente en diferentes formas y presentaciones, que contienen nutrimentos necesarios, algunos de ellos “esenciales” para el desarrollo normal de las plantas, que son incorporados generalmente en forma granular o natural (tratados o no) al suelo, diluidos en agua o en su caso aplicados por medio de aspersiones foliares. Se conceptualiza y define como fertilizante o abono *“aquellas sustancias orgánicas o inorgánicas que contienen nutrimentos esenciales en formas accesibles y asimilables para las plantas; que poseen además la capacidad de mantener, proveer e incrementar sus contenidos en el suelo, mejorando la calidad nutricional del substrato y estimular con ello el crecimiento vegetativo de las plantas hasta niveles económicamente satisfactorios”*. Los nutrimentos adicionados cumplen en este sentido diversas funciones que generan importantes efectos favorables sobre las plantas, entre ellas la caña de azúcar, como son entre otras las siguientes:

- Activar y dinamizar la actividad biótica del medio o entorno donde se ubica el cultivo.
- Aumentar y favorecer el crecimiento normal de las plantas buscando maximizar el tonelaje de caña (t/ha).
- Elevar el nivel de productividad aproximándolo al potencial genético de la planta, que en el caso de la caña de azúcar es de carácter agrícola e industrial.
- Influir en mejorar la calidad general de la cosecha de la plantación en función de los indicadores establecidos para ese fin. En la agroindustria los mismos están vinculados directamente con la materia prima procesada y la calidad de los jugos contenidos en el tallo, entre ellos la concentración de sacarosa.
- Favorecer la fitosanidad y estabilidad de la plantación.
- Mantener, mejorar y restituir según sea el caso, la condición de fertilidad del suelo; lo que en el caso de la caña es muy necesario virtud de la alta y reconocida capacidad de extracción que posee la planta y que rápidamente agota los mismos, como señalara Chaves (1986, 1999b).
- Prolongar la “vida y uso comercial” de las plantaciones traducido en más cosechas de calidad.

No cabe la menor duda, como las contundentes evidencias históricas lo han demostrado de manera fehaciente, que los fertilizantes constituyen uno de los principales insumos utilizados en la agricultura para satisfacer, normalizar y estabilizar las necesidades nutricionales esenciales de los cultivos, debido al efecto e impacto que tienen sobre la producción. Por estas y otras razones, ese componente forma parte inalienable, en sus variables suelo y planta, de la conocida ecuación de la producción agrícola, como lo reseñara Chaves (2020).

Como anotara Eakin (1976) en alusión y relación directa al tema indicado:

“El futuro depende del cultivo intensivo de las tierras; todos los años la proporción de tierra cultivable para la población del mundo, disminuye; todos los años la ciencia coloca nuevos recursos en manos de los agricultores. El cultivo intensivo implica el uso de fertilizantes; más, ello implica, o debería implicar, en habilidad y conocimiento para usar estos recursos. Fertilizers & Maneres, Londres, 1909.”

En términos generales algunos de los beneficios que se han atribuido al empleo racional y técnico de los fertilizantes se concentran en:

- Superar las limitantes inducidas y provocadas por las deficiencias nutricionales de las plantas.
- Reponer, restituir y habilitar nutrientes extraídos por la planta que resultan esenciales para su desarrollo normal.
- Mantener o mejorar la condición de fertilidad del suelo y su actividad biótica.
- Mejorar la tolerancia y resistencia de los cultivos en torno a la presencia de patógenos que provocan enfermedades.
- Mejorar la calidad de las cosechas y sus productos.
- Incrementar los rendimientos y con ello el grado de productividad de la plantación.
- Aumentar la rentabilidad y la competitividad del cultivo y la agro empresa.

Como es de todos conocido, la gran mayoría de los fertilizantes que se utilizan en la agricultura moderna y en particular en el sector cañero-azucarero son productos químicos o de origen mineral, abonos orgánicos y residuos vegetales de plantas (RAC de cosecha) o derivados de procesos agroindustriales; como acontece en el caso de la agroindustria azucarera con la “torta de filtro” o cachaza, las cenizas derivadas de la incineración del bagazo en las calderas del ingenio, los residuos de proceso fabril (bagazo y bagacillo) o las vinazas generadas en la producción y destilación de alcohol.

En el comercio existe actualmente una amplia variedad y diversidad de productos destinados a fertilizar plantaciones, que están dispuestas en presentaciones múltiples en forma y contenido habilitadas para satisfacer las más variadas y heterogéneas condiciones que los diferentes entornos y requerimientos particulares de producción imponen; lo cual en el caso de la agroindustria azucarera costarricense es muy elevado, virtud de lo disímil de las regiones, zonas y localidades donde se produce la caña, como lo ha demostrado Chaves (2017, 2019ab). En este particular, pueden encontrarse entre muchas opciones y sin entrar en clasificaciones complejas, las siguientes presentaciones:

- Fertilizantes orgánicos:** nombrados y conocidos también como “abonos” son de origen animal o vegetal. Sus nutrientes por lo general se encuentran en menores concentraciones y son de baja solubilidad, lo que retarda su absorción por la planta. Sus contenidos son variables. Implica el uso de volúmenes importantes lo que resulta oneroso y limitante en la práctica

habitual del campo. Tienen la ventaja de mejorar el estado fisicoquímico y microbiológico del suelo, favoreciendo la retención de agua y nutrientes. Se emplean particularmente en la agricultura orgánica y ecológica. Algunos fertilizantes orgánicos tradicionales son el estiércol, los efluentes pecuarios, el compost, los abonos verdes, los residuos de proceso y de cosecha (RAC), entre otros.

- B. **Biofertilizantes:** contienen microorganismos vivos (hongos y bacterias) con acción nutricional, lo que habilita su empleo en la agricultura orgánica y ecológica. Orientados a mejorar la calidad del suelo mediante el establecimiento de mecanismos de simbiosis formando asociaciones de organismos de distintas especies que se benefician mutuamente en su desarrollo vital. Poseen alta aceptación virtud de su armonía y asociación con el ambiente. Destacan entre sus propiedades y beneficios el mejor aprovechamiento que proveen del suelo, el estímulo y promoción del crecimiento vegetal, la captación y absorción de nutrimentos y la reducción que aportan en el uso de otros tratamientos de protección; todo complementado con un precio muy accesible.
- C. **Bioestimulantes:** al igual que el grupo mencionado también involucran en su contenido microorganismos para estimular el crecimiento de las plantas y no necesariamente con un fin nutricional, como sucede con los anteriores.
- D. **Fertilizantes químicos:** son los de mayor uso y por su origen fabril por reacción o mezcla química de materias primas, variada composición, alta solubilidad y elevada concentración, permiten obtener resultados muy rápidos y significativos en calidad y cantidad de producto final. Hay por su origen homogeneidad y estabilidad en sus contenidos. Es notorio y evidente la mejora que inducen en la salud de las plantas, aumentando significativamente la productividad de las cosechas. Pueden contener uno o varios elementos nutricionales. La impericia en su empleo puede provocar daño y efectos contraproducentes, lo que obliga operar un manejo responsable.
- E. **Fertilizante simple:** contienen solo un nutrimento, ej. N.
- F. **Fertilizante compuesto:** puede contener dos o más nutrientes, ej. N-P-K-S-Zn-B. Cada gránulo posee la misma proporción de nutrientes, obtenidos por reacción química. Visualmente el color de los gránulos es muy uniforme.
- G. **Mezcla física:** en su obtención no median reacciones químicas, sino simples mezclas físicas y mecánicas de materias primas ya formuladas. Para la obtención de estos fertilizantes, debe asegurarse su compatibilidad, pues hay algunos que no la poseen o ésta es limitada, por lo cual no deben mezclarse.
- H. **Fertilizante granular:** la presentación del producto es en forma particulada mediante gránulos de diferente tamaño con diámetros entre 1 y 4 mm.
- I. **Fertilizante prilado o perlado:** su preparación es muy particular pues corresponde a gránulos casi esféricos que se forman mediante solidificación de gotas liberadas en caída libre en el

aire u otro material fluido; es común encontrarlo en formulaciones como urea y nitrato de amonio. Se forma por solidificación del producto fundido y pulverización a contracorriente de aire u otro medio fluido de refrigeración.

- J. **Fertilizantes líquidos:** considera productos cuyo factor de dilución es parcial o total por lo que califican como líquidos. Son soluciones super saturadas llevadas al máximo de concentración permitida, cuyo contenido de agua es bajo, lo que las hace muy corrosivas requiriendo protocolos de salud ocupacional y equipos convenientes para su manipulación, contención y aplicación. En esta categoría se incluyen productos con apariencia de líquidos claros; también los que contienen sólidos en suspensión y hasta un gas disuelto como acontece con el amoníaco (NH₃). Su aplicación es muy rápida, uniforme y precisa, aunque debe ser mecanizada. En el mercado se consiguen formulaciones variadas como: 31-0-0, 26-0-5,2, 8,6-0-0- 15 CaO y 0-0-14,5, entre otras, cuyos índices de pH son muy diferentes: 6,6; 7,5; 3,8 y 7,8, respectivamente; lo que aplica también en su densidad.
- K. **Fertiirrigación:** en este caso, los abonos y los fertilizantes se incorporan y disuelven en el agua que será empleada para el riego de la plantación, lo que permite que los nutrientes se repartan discrecionalmente y de manera muy puntual por toda la plantación. Se utiliza particularmente en el riego por goteo.
- L. **Fertilizante foliar:** esta presentación de fertilizante líquido se aplica diluido en agua y por pulverización o aspersión sobre el área foliar de las plantas. Las hojas absorben de manera muy rápida los nutrientes, por lo que sus resultados son muy evidentes. Los indicadores de tensión superficial y evaporación son clave para lograr una correcta asimilación de los nutrientes adicionados, lo que habilita el uso caso obligado de coadyuvantes. La experiencia en caña de azúcar con esta modalidad de fertilización no ha sido consistente, lo que cuestiona su empleo; debiendo investigar y validar aún al respecto más como fuera recomendado por Chaves (2021b), sobre todo con elementos menores como Zn y B.
- M. **Fertilizantes quelatados:** los quelatos son compuestos de alta estabilidad que mantienen iones (metálicos) rodeados y envueltos por una molécula orgánica que facilita y favorece su absorción e ingreso al interior de la planta. Se utilizan en la agricultura para incorporar Zn, Cu, Fe y Mn, principalmente, ya que las características y propiedades del suelo son variables y pueden afectar su absorción por precipitación en forma de hidróxidos insolubles.
- N. **Fertilizante radicular o al suelo:** este tipo de fertilizante se aplica de manera direccionada en la base de la planta y puede hacerse de forma directa o también diluida en agua; lo que favorece que el nutriente sea asimilado de manera muy rápida por su proximidad a las raíces. Responde a criterios de posicionamiento.

- O. **Fertilizantes por su contenido:** es común nombrarlo y reconocerlo por el elemento constituyente y/o contenido como acontece con los nitrogenados, fosforados, potásicos, azufrados, cálcicos, magnésicos, micro nutrimentos, oligoelementos o elementos menores. Se puede ser aún más específico al desagregar por ejemplo los primeros en ureicos, nítricos o amoniacales.
- P. **Fertilizante de especialidad:** como su nombre lo indica, corresponde a fertilizantes especiales empleados para plantas creciendo en condiciones particulares especiales como invernaderos, viveros, jardines, interior de casas de habitación, oficinas; o sitios especiales como canchas de fútbol, campos de golf, etc. Por su destino particular no son de uso convencional ordinario, por lo general poseen muy alta solubilidad en agua y alta calidad fisicoquímica, lo que genera un alto costo y valor unitario.
- Q. **Fertilizantes de liberación lenta (SRF):** proporcionan un suministro lento pero constante de nutrientes a las plantas durante un período de tiempo relativamente más prolongado evitando y reduciendo con ello las pérdidas. Contienen nutrientes vegetales, principalmente nitrógeno, en una forma que su disponibilidad inicial es retrasada. Los productos principales de este tipo son los de reacción urea-aldehído de lenta solubilidad y los fertilizantes recubiertos. La tasa de liberación del N está asociada al contenido de humedad, el pH y la textura de las partículas del suelo; siendo que, entre más humedad exista y mayor fineza tengan, más rápido se liberará el N por degradación e hidrólisis microbiana.
- R. **Fertilizante revestido o recubierta:** se refiere a partículas granulares que son revestidas en su proceso de formulación con una capa o membrana semipermeable de alguna sustancia apropiada insoluble o de baja solubilidad en agua, que controla la tasa de liberación de los nutrimentos incorporados al medio o solución del suelo. En este caso la disolución del fertilizante se produce lentamente conforme el agua atraviesa el recubrimiento. La membrana se rompe debido al gradiente de presión osmótica que es mayor en el interior del gránulo, liberando así los nutrientes contenidos en forma gradual y progresiva. El recubrimiento puede hacerse con parafina, yeso, resinas, laca, arcilla, fosfato amónico-magnésico, entre otros.
- S. **Fertilizante acondicionado:** son productos tratados con algún aditivo apropiado que mejore la condición física o prevenga el aglutinamiento de este.

Como se infiere de lo anterior, son muchas y diversas las categorías y acepciones que pueden aplicarse al concepto genérico de “fertilizante”; lo cual va en función de su origen, destino, constitución y uso, entre otras. Más adelante se abordará con mayor detalle el tema de los “fertilizantes de liberación controlada, lenta y estabilizados” motivo del presente documento. Es importante señalar para efectos semánticos de interpretación que los términos, CRF “fertilizantes de

liberación controlada” (Controlled-Release Fertilizers) y SRF “fertilizantes de liberación lenta” (Slow-Release Fertilizers), por sus siglas en inglés, son considerados análogos.

Fuentes comerciales de nitrógeno para el campo

A diferencia de lo que acontece en el país con otros agroquímicos de uso primario en la agricultura como son los insecticidas, funguicidas, herbicidas y coadyuvantes, entre otros, la disponibilidad y variedad de productos fertilizantes accesibles para uso comercial en el cultivo de la caña de azúcar puede considerarse alta, aunque no suficiente para atender las necesidades actuales, como se expondrá y comentará más adelante.

En el Cuadro 1 se expone un detalle de los fertilizantes nitrogenados comerciales más conocidos dispuestos en el mercado para ser empleados en la nutrición y fertilización de los cultivos. Como se aprecia, son en total 33 los productos formulados conteniendo N en forma de nitratos, amonio y amoníaco (Chaves, 2021def). No se agrega ni consigna en esa información la gran cantidad de fórmulas completas y complejas de formulación química y física, que están igualmente disponibles en el comercio para ser aplicadas en el campo; las cuales permanentemente están en renovación y variación para satisfacer las múltiples necesidades del agro.

La información adjunta muestra el contenido total de N presente en cada formulación desagregado en sus formas amoniacal y nítrica básicas. Adicionalmente se agrega el índice de salinidad correspondiente a cada fuente, lo cual es muy importante de considerar, pues como es conocido, la mayoría, no todos, los fertilizantes minerales son sales que pueden cambiar la condición (pH) del medio hacia la acidez o la basicidad; lo cual se expresa como los kilogramos de CaCO_3/ha requeridos aplicar para compensar la acidificación del suelo provocada por la adición de una tonelada de fertilizante, anotado como (-) calcario necesario para neutralizar una tonelada (1.000 kg) de fertilizante y (+) cantidad de cal equivalente a una tonelada de fertilizante. La aplicación continua de fertilizantes de reacción ácida en el suelo puede causar un efecto acumulativo que favorece esa condición. El empleo de fuentes amoniacales beneficia la acidez residual debido a la liberación de iones H^+ resultantes de la nitrificación del NH_4^+ , como acontece con el sulfato y los fosfatos de amonio; otros por el contrario son de tendencia alcalina causada por el catión acompañante como se observa en los casos de los nitratos de K, Ca y Na.

Como elemento adicional relevante de mencionar y comentar en torno al empleo técnico y correcto de los fertilizantes, en particular los nitrogenados, es el concerniente a la compatibilidad e incompatibilidad que puede surgir cuando se realizan mezclas de estos, sea en la formulación de mezclas físicas o en adiciones conjuntas de productos en el campo, lo que es muy común que ocurra. La compatibilidad es una propiedad que le permite a las materias primas

que se mezclan físicamente permanecer inalteradas durante su etapa de almacenamiento, manipulación y aplicación en el campo. Acontece que la mayoría de las fuentes son compatibles, pero las hay también antagonicas, lo que se manifiesta en características notorias muy particulares fáciles de percibir, como son entre otras:

- desarrollo de humedad
- presencia de compactación
- generación de calor
- producción de gas
- aumento de la higroscopicidad
- segregación en mezclas físicas por diferencias en el tamaño del particulado

Un ejemplo muy común de mezcla inconveniente es la de Nitrato de Amonio + Urea, la cual es químicamente incompatible provocando una reducción de la humedad relativa al 18%.

Cuadro 1.
Fertilizantes nitrogenados de uso comercial (33) formulados conteniendo Nitratos, Amonio y Amoniaco.

Producto	Fórmula	Contenido total N (%)	Contenido % NH ₄	Contenido % NO ₃	Equivalente a Acidez *
Amonio Anhidro	NH ₃	82,2	82,2		-1.341
Hidróxido de Amonio	NH ₄ OH	20 - 24	20 - 24		
Solución Amoniacal		16 - 25	16 - 25		-360 -540
Nitrato de Amonio	NH ₄ NO ₃	33 - 34	16,5 - 17	16,5 - 17	-535 -590
Nitrosulfato de Amonio	NH ₄ NO ₂ , (NH ₄) ₂ SO ₄	26 - 30		6,5	
Nitrato de Potasio	KNO ₃	13		13	+236
Nitrato Amonio Calcáreo**	NH ₄ NO ₃ (*CaCO ₃)	20 - 22	10 - 11	10 - 11	0
Nitrato de Calcio	Ca(NO ₃) ₂	15 - 19	1,1	14,4	+181
Nitrocalcio		26		14,2	-280
Nitrosulfocalcio	NH ₄ NO ₂ CaSO ₄	27			-353
Nitrato de Magnesio	Mg(NO ₃) ₂ · 6H ₂ O	9-11		9-11	
Nitrato de Sodio ***	NaNO ₃	16		16	+263
Nitrato de Sodio y Potasio ***		15		15	+249
Nitrato de Zinc	Zn(NO ₃) ₂ · 6H ₂ O	18		18	
Nitraboro		20		10	
Urea-Nitrato de Amonio	CO(NH ₂) ₂ , NH ₄ NO ₃	28 - 32			
Sulfato de Amonio	(NH ₄) ₂ SO ₄	20 - 21	20 - 21		- 996 -1.100
Nitrosulfatos		14 - 22		14 - 22	-150 -250
Nitrosulfocalcio		27			-353
Cloruro de Amonio	NH ₄ Cl	26 - 28			-1.394
Sulfonitrato de Amonio	(NH ₄) ₂ SO ₄ , NH ₄ NO ₃	26	19,5		-770 -850
Urea	CO(NH ₂) ₂	45 - 46	45 - 46		-840
Urea - Nitrato de Amonio (líquido)	[CO(NH ₂) ₂] [NH ₄ NO ₃]	28 - 32			
Urea - Fosfato		28 - 29			
Urea Fostato - Amonio		21 - 38			
Urea - Azufre		40			
Fosfato Monoamónico (MAP)	NH ₄ H ₂ PO ₄	10 - 12	10 - 12		-589 -650
Fosfato Diamónico (DAP)	(NH ₄) ₂ HPO ₄	16 - 21	16 - 21		-625 -775
Fosfato Diamónico Saturado		21	21		
Fosfato de Amonio-Sulfato		16	16		
Polifosfato de Amonio		10 - 11	10 - 11		
Tiosulfato de Amonio (líquido)	(NH ₄) ₂ S ₂ O ₃	12	12		
Molibdato de Amonio	(NH ₄) ₂ MoO ₇ · 4H ₂ O				

Fuente: Elaborado por el autor con base en información de Bertsch (1998); Meléndez y Molina (2003); Malavolta (1979, 1980, 1981) y Chaves (2021def).
* kg CaCO₃/ha requeridos aplicar para compensar la acidificación del suelo provocada por la adición de una tonelada de fertilizante, anotado como (-) calcario necesario para neutralizar 1 tonelada de fertilizante; (+) cantidad de cal equivalente a 1 ton de fertilizante.
** Magnesamón o Nitramón.
*** Salitre de Chile.

Queda claro entonces, que para conseguir fertilizantes compuestos o realizar adiciones conjuntas, existen límites de compatibilidad que deben imperativamente conocerse y respetarse; pues la mezcla obtenida puede resultar compatible, incompatible o dicha compatibilidad es limitada. En la Figura 1 se muestra la relación de

compatibilidad que puede existir entre los diferentes tipos de fertilizantes químicos granulados de uso más común en el comercio.

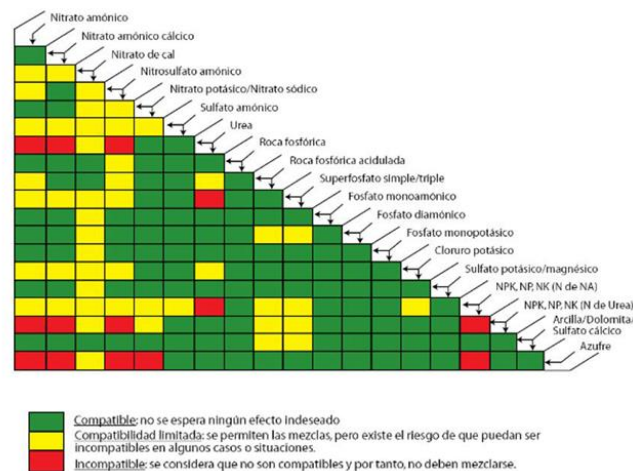


Figura 1. Compatibilidad de productos fertilizantes (Fuente: www.tecnicoagricola.es).

Fertilizante ideal

Igual que acontece en cualquier actividad vital la búsqueda del modelo, biotipo, producto o resultado ideal será siempre la válida aspiración de los que siempre buscan lo mejor, de lo cual no están exentos los fertilizantes, cuyo mejoramiento en todas las áreas ha venido en activo desarrollo desde hace muchos años auspiciado por quienes los producen y para quienes los utilizan; sea en lo concerniente al contenido de nutrimentos, solubilidad, estabilidad, reducción de pérdidas, presentación y costos asociados, entre otros, todo con la finalidad de mejorar su eficiencia para satisfacer las necesidades agro productivas, tecnológicas, comerciales y ambientales.

Vale reconocer que buena parte del esfuerzo tecnológico destinado a acondicionar y elevar la calidad y la eficiencia y eficacia de los fertilizantes se ha concentrado principalmente en los productos nitrogenados por razones casi obvias, como son entre otras: a) representar el nutriente de mayor uso en la agricultura mundial y nacional (Chaves, 2021c), b) tener una relación directa con el incremento de la productividad, c) poseer el elemento una alta dispersión y variabilidad espacial en sus contenidos en el suelo, d) el nivel de pérdidas que presenta el nutriente es muy alto (50-70%) lo que reduce consecuentemente su grado de eficiencia técnica y aprovechamiento (apenas 30-50%) y e) minimizar riesgo y evitar afectación ambiental y ecológica.

Es un hecho comprobado que desde que el fertilizante se adquiere, transporta, almacena, aplica en el campo y es finalmente absorbido por la planta, ocurren en magnitud e intensidad variable, diferentes eventos y mecanismos de índole fisicoquímico y biológico que

intervienen sobre su calidad, nivel de pérdidas y grado de eficiencia técnica, como lo han ampliamente expuesto Chaves (1999b, 2010, 2021a) y Montenegro y Chaves (2011, 2012). Entre los mecanismos de pérdida están la inmovilización, fijación, volatilización, desnitrificación y lixiviación. Las fuentes de N incorporadas en el suelo serán posiblemente oxidadas a nitrato, que es la forma en que la planta lo absorbe independientemente de la fuente aplicada. Es por esta razón y necesidad, que la búsqueda permanente y continua del fertilizante que procure eliminar, reducir o mitigar esas pérdidas será siempre una meta, un desafío y un ideal por alcanzar

¿Qué sería esperable y deseable disponer en un “fertilizante ideal”? Muchas cosas podrían mencionarse y justificarse, sin embargo, hay algunas que adquieren mayor interés y prioridad virtud de sus efectos y alcances, como son entre otras las siguientes: a) tener un precio razonable y asequible que favorezca su adquisición y empleo, b) aplicarse por una única vez durante todo el ciclo vegetativo sin favorecer pérdidas, afectar ni impactar negativamente el metabolismo, crecimiento y desarrollo general del cultivo, c) lograr la máxima eficiencia y efectividad técnica y productiva que asegure el mayor valor agregado y tasa de retorno posible, d) reduzca las pérdidas del nutrimento en el medio y e) elimine y/o minimice el impacto y daño ambiental a los recursos edáfico, hídrico, biológico y atmosférico.

Como es entendible y comprensible resulta realmente muy difícil en la práctica agronómica y tecnológica pretender encontrar ese deseado y anhelado “fertilizante ideal”, pues hay factores como es la heterogeneidad de factores bióticos, abióticos y elementos del entorno que participan en todo el proceso hasta su absorción y acción metabólica en el interior de la planta. Pese a esa dificultad manifiesta es importante reconocer que desde hace varias décadas se viene trabajando en la industria mundial de los fertilizantes por encontrar y materializar esa codiciada “fuente ideal” a la que algunos han temerariamente denominado “fertilizantes inteligentes”.

Fertilizantes de liberación controlada, lenta y estabilizados

Producto de la intensa búsqueda y consecución del “fertilizante ideal” se han incorporado industrialmente progresos sustantivos en algunas formulaciones químicas, que han generado nuevas e interesantes opciones comerciales que satisfacen algunas de las demandas y exigencias actuales impuestas por los consumidores y los mercados de destino. En este sentido se han desarrollado los denominados “Fertilizantes de eficiencia potenciada”, cuya aceptación y expansión viene en crecimiento, aunque no con la velocidad y dinamismo deseado. Dichos fertilizantes son formulados siguiendo tres orientaciones principales, como son:

1) Incorporan un recubrimiento o revestimiento físico (coating) al gránulo que adquiere la propiedad de liberar el nutrimento contenido en forma lenta y controlada en el tiempo, influenciado

por la humedad y la temperatura presentes en el suelo. Estos productos controlan la tasa de disolución en el suelo. En este grupo se ubican los fertilizantes: urea recubierta con azufre (SCU), urea recubierta con un polímero y azufre (PCSCU) y fertilizantes recubiertos con polímeros (PCF). La selección y empleo del azufre como cobertura se debe a tener un costo muy bajo y constituir un nutrimento esencial secundario importante. La tasa de liberación al medio puede controlarse variando el grosor de la cobertura del polímero.

- 2) Liberar los nutrientes al medio en formas poco solubles requiriendo para su disponibilidad tener que sufrir una transformación química o biológica que la convierta en una forma más soluble y asequible para la planta. El mecanismo no debe confundirse con una liberación controlada pues es diferente, correspondiendo más bien a una “liberación postergada”.
- 3) Añadir al fertilizante una sustancia inhibidora que bloquee o postergue las reacciones biológicas o bioquímicas que transforman el producto fertilizante en una forma química menos propensa a sufrir pérdidas.

Dichas mejoras son concebidas y aplicadas en los denominados “fertilizantes mejorados”, las cuales van orientadas en cuatro grupos de productos fertilizantes muy particulares, como son:

- Fertilizantes recubiertos y/o revestidos con polímeros
- Fertilizantes de liberación lenta
- Inhibidores de la nitrificación
- Inhibidores de la ureasa

La dinámica comercial y utilización de estos nuevos productos ha sido relativamente lenta por razones de precio por ser más onerosos que los tradicionales fertilizantes de alta solubilidad, lo que los ha limitado y restringido a cultivos de alto valor; pese a lo cual el costo se reduce con el tiempo debido a su mayor uso.

La definición de la Association of American Plant Food Control Officials (AAFCO 2012) para “Fertilizantes de liberación lenta o controlada” indica que: *Es un fertilizante que contiene nutrientes vegetales en alguna forma tal que su disponibilidad para la absorción y uso por las plantas se demora luego de su aplicación, o que su disponibilidad para las plantas se extiende por un tiempo suficiente en comparación a los “nutrientes de rápida disponibilidad”, de otros fertilizantes tales como nitrato de amonio ó urea. Tal demora en su disponibilidad inicial, extendida en el tiempo o disponibilidad continua puede ocurrir por una variedad de mecanismos. Estos incluyen la solubilidad controlada del material en agua (por una cobertura semipermeable, oclusión, o por la inherente insolubilidad en agua de polímeros, sustancias orgánicas nitrogenadas, materiales proteicos u otras formas químicas), la lenta hidrólisis de compuestos solubles de bajo peso molecular u otros mecanismos desconocidos.*

Se infiere de lo anterior que los fertilizantes que operan bajo los principios de lenta liberación y liberación controlada disponen los nutrientes que contienen para las plantas, a una velocidad significativamente menor en relación con los fertilizantes convencionales de uso tradicional en la agricultura.

De acuerdo con Melgar (2005), la misma Asociación clasifica y ubica estos fertilizantes de uso agrícola constituidos con nutrimentos de lenta solubilidad y liberación en cuatro categorías:

- **Insolubles en agua:** requieren gran cantidad de agua para su completa solubilidad, asegurando una baja concentración de N en la solución nutritiva. Pueden ser productos naturales orgánicos, como: oxamidas, urea-formaldehído IBDU (Isobutilen diurea), crotoliden diurea (CDU); e inorgánicos como fosfatos dobles de amonio y un metal.
- **Recubiertos con azufre:** el revestimiento empleado para cubrir los granos de fertilizante se hace con azufre elemental.
- **Ocluidos:** en este caso el fertilizante es mezclado con resinas, ceras u otros materiales inertes.
- **Hidrosolubles lentamente disponibles:** MDU, DMTU, DCD, solución urea-triazona, etc.

Jiménez Gómez (1992) define por su parte *“...la liberación controlada como la transferencia lenta, moderada o gradual, de un material activo desde un sustrato de reserva a otro medio, con el fin de conseguir sobre el mismo una acción determinada. Con ello se consigue aumentar la eficacia del material activo prolongando su acción en el tiempo, se reduce su impacto sobre aquellos otros medios a los que no van especialmente dirigidos, se simplifica su dosificación, se evitan pérdidas por degradación, volatilización y lixiviación.*

Los fertilizantes de liberación lenta y controlada son fertilizantes que contienen nutrientes de forma que: a) retrasan su disponibilidad para la absorción y uso de la planta después de la aplicación o, b) están disponibles para la planta por periodos significativamente mayores que los “fertilizantes de disponibilidad inmediata”, como el nitrato de amonio, urea, etc. (AAPFCO, 1995).”

En su afán por interpretar las ventajas que ofrecen los fertilizantes de liberación lenta y controlada, Nutralene (1993) menciona las siguientes:

“a) Reducen la toxicidad: a causa de las altas concentraciones iónicas producidas por la disolución rápida de los fertilizantes convencionales solubles, por ende, los fertilizantes de liberación lenta y controlada contribuyen a una mejor seguridad agronómica.

b) Disminuyen las labores en el campo, permitiendo la utilización de un fertilizante más conveniente y contribuyendo a un programa de sistema de cultivo con una sola aplicación del fertilizante.

c) Reducen las posibles pérdidas de nutrientes, particularmente las pérdidas de nitrógeno que se producen entre aplicaciones y permite captar los nutrientes por la planta de forma gradual.

d) Contribuyen a la reducción del impacto ambiental producido por los fertilizantes comunes, ya que reducen las pérdidas por evaporación del NH₃ y en consecuencia las emisiones de gases (N₂O) a la atmósfera, además de restringir las pérdidas por lixiviación, las cuales son responsables de un problema medioambiental muy grave, ya que produce la contaminación de los suelos y de las aguas subterráneas o superficiales cuando el agua de lluvia arrastra sustancias contaminantes presentes.”

Para Ballester-Olmos (1995) la denominación fertilizante de liberación lenta *“...hace referencia a aquellos fertilizantes que ponen sus nutrientes a disposición de las plantas de una forma lenta y durante un período más o menos largo. Dependiendo de la composición química, su estructura y la forma de liberación de sus elementos se clasifican en cuatro grupos: a) orgánicos; b) compuestos poco solubles o de mineralización lenta; c) encapsulados, y d) fertilizantes corrientes con adición de inhibidores de la nitrificación.”* Agregando adicionalmente como información relevante, que *“Las ventajas que en potencia poseen los abonos de liberación lenta son:*

1) Mucha mayor eficiencia en el uso de los nutrientes en comparación con los abonos solubles, ya que su disponibilidad se extiende durante un largo período de tiempo.

2) Disminución del lavado, de la fijación y de la descomposición, ya que sólo se pone en cada momento a disposición de la planta una fracción muy reducida del aporte total, lo que permite, cuanto menos, aminorar el consumo de lujo con los consiguientes beneficios económicos y ecológicos.

3) Se reduce el riesgo de fitotoxicidad o quemado que se produciría con una importante aplicación de abono soluble.

4) Los abonos de liberación lenta pueden dar lugar a un aporte continuo de nutrientes durante un largo período de tiempo, lo que proporciona a la planta un crecimiento más equilibrado y mejor calidad.

5) Las aplicaciones pueden reducirse a una por ciclo de cultivo con el consiguiente ahorro en mano de obra”

Los productos más modernos nombrados y reconocidos como fertilizantes de liberación controlada, se encuentran a diferencia de los fertilizantes de liberación lenta, recubiertos con polímeros, lo que provoca una menor dependencia de los factores ambientales y elementos del clima; siendo su limitante su alto costo.

Los nombrados fertilizantes estabilizados se clasifican en dos grupos:

- **Inhibidores de la nitrificación:** reducen y mitigan las pérdidas de N que surgen por los procesos de lixiviación y desnitrificación de los nitratos que se dan en el suelo, lo que incrementa su eficiencia. En su acción básica procuran mantener por más tiempo el N en su forma amoniacal evitando la lixiviación de nitratos; previenen y evitan además las pérdidas por desnitrificación. Muy apropiados para condiciones de alta humedad, reducción o encharcamiento y suelos de textura arenosa (Chaves 2021de). Estos compuestos tóxicos para las bacterias nitrificantes operan retrasando la oxidación del amonio (NH_4^+) al suprimir temporalmente la actividad y conversión a nitritos (NO_2^-) promovida por las *nitrosomonas* previa conversión a nitratos (NO_3^-) por las bacterias *Nitrobacter* y *Nitrosolobus* en el suelo. El Cuadro 2 muestra algunos de los inhibidores de nitrificación existentes en el comercio.

Cuadro 2. Algunos inhibidores de nitrificación patentados.			
Nombre Químico	Nombre Común	Desarrollo de	% Inhibición al día 14
2-cloro-6-(triclorometil) piridina	Nitrapirina	Dow Chemical	82
4-Amino-1,2,4-6-triazol-HCl	ATC	Ishihada Industries	78
2,4-Diamino-6-triclorometiltriazina	CL-1580	American Cyanamid	65
Diciandiamida	DCD	Showa Denko	53
Tiourea	TU	Nitto Ryuso	41
1-Mercapto-1,2,4-triazol	MT	Nippon	32
2-Amino-4-cloro-6-metilpirimidina	AM	Mitsui Toatsu	31

Fuente: Melgar (2005).

A estos productos se les atribuye también promover una mejora en la movilización y extracción de fosfatos en la rizosfera, favorecido por el aumento del pH inducido por el amonio presente en solución. La inhibición no debe ser total y los productos empleados deben ser obligadamente selectivos, de manera que solo intervengan y actúen sobre microorganismos nitrificantes y no sobre otros que pueden ser benéficos. En la Figura 2 se indican los puntos de actividad en que actúan los inhibidores de ureasa en el caso de la urea y la nitrificación.

- **Inhibidores de ureasa:** reducen las pérdidas de N provocadas por volatilización gaseosa en forma de amoníaco (NH_3), al retardar la velocidad de hidrólisis de la urea a amonio por acción de la enzima ureasa presente en el suelo. Previenen y disminuyen por algún tiempo la transformación de la N-amida contenida en la urea en hidróxido de amonio o amonio; favoreciendo con ello una tasa de hidrólisis más lenta de la urea en el suelo, lo que reduce en doble partida las pérdidas de amonio por volatilización y también de nitratos por lixiviación. Lo anterior incrementa la eficiencia de la urea y los fertilizantes ureícos al ser aplicados al suelo. Tienen potencial de uso en zonas calientes de suelos alcalinos o próximos a la neutralidad como Guanacaste y el Pacífico Central (Chaves 2021f). El comercio está muy limitado de estas sustancias, siendo de acuerdo con Melgar (2005), la denominada N- (n-butil) triamida tiofosfórica (n-BTPT) el único inhibidor de ureasa disponible, bajo

la marca de Agrotain®; que es un solvente verde claro que contiene entre 20 y 25 % de n-BTPT, y puede usarse para: impregnar los gránulos de urea, agregarse al licor de urea durante su manufactura, o agregarse a las soluciones de UAN antes de la aplicación en el campo. Las dosis recomendadas varían entre 0,11 y 0,14 %/V/V. Se indica en la literatura especializada que el beneficio de los inhibidores de la enzima ureasa se maximiza cuando: 1) el potencial de rendimiento del cultivo es alto, 2) los contenidos de N en el suelo son bajos, 3) la adición de urea se torna difícil y 4) las condiciones ambientales del entorno agro productivo promueven y favorecen la volatilización del N.

Una de las ventajas de este grupo particular de formulados es que su precio es menor y por tanto más accesible y rentable en relación con los otros. Es importante mencionar que los fertilizantes de liberación controlada no operan exclusivamente con el N, sino que también existen resultados muy satisfactorios con P y K.

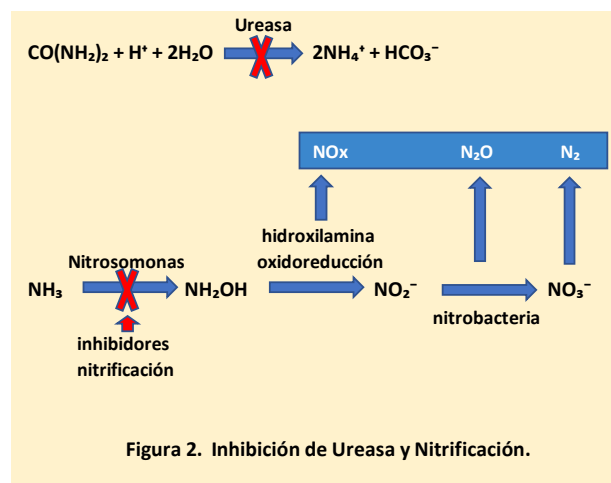


Figura 2. Inhibición de Ureasa y Nitrificación.

Ritmo de liberación del N

Una revisión exhaustiva de información técnica revela que, en el proceso de transformación y conversión del nitrógeno a nitritos, en el caso de la urea-formaldehído, influyen los mismos factores que inciden sobre la actividad microbiológica del suelo; entre los cuales Ballester-Olmos (1995), menciona los siguientes:

a) La elevación de la temperatura.

b) La humedad del suelo, produciéndose las máximas velocidades de solubilización para un grado de saturación de suelo del 50 por 100.

c) El pH, siendo ligeramente más rápida la solubilización para pH débilmente ácido (pH = 6,1) que para pH neutro (pH = 7) o ácido (pH = 5).

d) La actividad microbiana, que aumenta la degradación.

e) La aireación, que facilita el desarrollo de los microorganismos.

La liberación de los nutrientes en el caso de materiales de baja solubilidad se ve afectada principalmente por el tamaño de las partículas y su dureza. En el caso de la urea-formaldehído la actividad biológica parece ejercer un mayor control sobre la liberación de nutrientes que la granulometría."

También se mencionan otros elementos como son la textura del suelo y el tamaño de las partículas del fertilizante, pues entre más liviana (fina) y pequeña sean, respectivamente, mayor será la actividad. El contenido de materia orgánica y el estado de fertilidad que define la condición nutricional (especialmente P y K) parecen igualmente influir. Se recomienda incorporar el producto en profundidad del suelo para evitar pérdidas por volatilización.

¿Qué se busca con el uso de estos fertilizantes?

En lo esencial lo que se busca institucional, sectorial y productivamente con la habilitación de estas nuevas opciones "ambientalmente inteligentes", es contar con alternativas modernas de productos fertilizantes que permitan desarrollar los programas de nutrición y fertilización previstos incorporar en las plantaciones comerciales de caña de azúcar en Costa Rica. Esto sin perder ni sacrificar productividad agrícola y fabril ni tampoco rentabilidad financiera, de manera que la agroindustria cañero-azucarera nacional pueda disponer de materiales e insumos apropiados que le permitan acompañar los esfuerzos que actualmente desarrolla en materia de certificaciones ambientales y de calidad de productos y procesos como acontece con BONSUCRO y con el NAMA-Caña actualmente en fase de diseño e implementación; así como también, la gestión que opera en el campo de responsabilidad social-empresarial.

El uso de estos insumos perfila y aplica no apenas en materia de imagen, sino también orientado a la generación de beneficios productivos, económicos y ambientales tangibles y medibles que traerán incuestionablemente grandes beneficios al productor de caña de azúcar. Se busca inducir y provocar un cambio de fondo en el modelo tradicional de fertilización implementado actualmente, buscando reducir las pérdidas de nitrógeno, mitigar los impactos ambientales provocados por contaminación y afectación atmosférica por la generación de Gases con Efecto Invernadero (GEI). El cuestionamiento y asuntos por resolver están en su rentabilidad y productividad.

Experiencias en el sector azucarero nacional

Una revisión sinóptica de lo actuado en Costa Rica en torno a investigar sobre el uso del nitrógeno en la caña de azúcar es relativamente antigua y muy amplia, abordando diferentes tópicos de interés y mucha trascendencia pragmática como sucede en el caso específico de tópicos relevantes, como son: fuentes, dosis (kg/ha), interacciones, fraccionamiento, tipos de suelo, entornos y localidades productoras, variedades comerciales de caña, ciclo vegetativo de las plantaciones y costos vinculados, entre otros factores asociados. Puede en este sentido asegurarse que se conoce bastante sobre la utilización y los efectos del nitrógeno sobre los sistemas de producción de caña de azúcar en el país, como lo ha revelado Chaves (1999ab, 2017, 2021c).

Pese a lo anterior, acontece sin embargo que la investigación desarrollada a la fecha en el país con relación a fuentes de liberación controlada, lenta y estabilizados es aún muy limitada, lo que deja abierto un innecesario e inconveniente espacio para la duda y la especulación al procurar interpretar la factibilidad y viabilidad real en cuanto al uso potencial que tienen estos nuevos insumos, al menos en el caso particular de la caña de azúcar. Existen, sin embargo, algunos resultados experimentales muy interesantes desarrollados en diferentes localidades productoras de caña del país, que permiten conocer e inferir con buena aproximación la posible respuesta de algunos de estos insumos con expectativa comercial factible, como se expondrá seguidamente.

Como se resume de lo expuesto oportunamente por Chaves (2016), se evaluó en seis entornos edafoclimáticos muy diferentes, correspondientes a cinco regiones productoras de caña de azúcar de Costa Rica, el efecto productivo agroindustrial de nueve fuentes nitrogenadas diferentes más un testigo sin N; algunas de ellas recomendadas por su composición y mecanismo de acción en el suelo, para mitigar las pérdidas y con ello el impacto ambiental provocado por las mismas. Virtud de sus características y propiedades califican como fertilizantes de liberación controlada, lenta y estabilizados. Importante indicar que el detalle de dichos estudios está individualmente expuesta en las siguientes publicaciones Angulo *et al* (2015), Barrantes *et al* (2015), Calderón *et al* (2015), Ocampo *et al* (2015) y DIECA (2015, 2016), las cuales pueden ser consultadas.

En el Cuadro 3 se presenta un detalle de contenido y caracterización química de las 9 fuentes de N evaluadas anotando las propiedades principales que determinan su actividad en el suelo, caracterizada en 6 de ellas por el recubrimiento, la liberación lenta, controlada y la inhibición de la enzima ureasa. Dichas fuentes fueron comparadas contra tres formulaciones de N de uso tradicional en el cultivo como son la urea (46% N), el nitrato de amonio (33,5% N) y el sulfato de amonio (21% N%); incorporando adicionalmente un testigo referente sin nitrógeno (-N) que solo tuvo la fertilización básica agregada a todos los tratamientos por igual, compuesta por 140 kg de N + 150 kg de P₂O₅/ha y 150 kg K₂O/ha. Se procuró evaluar en ese tratamiento -N el impacto y relevancia del nutrimento sobre la productividad agroindustrial del cultivo.

Geográficamente las localidades donde se establecieron los experimentos entre junio y agosto del año 2011 fueron según cantón y distrito, las siguientes: Cañas (Porozal), Liberia (Liberia), Grecia (Puente de Piedra), San Carlos (Cutris), Pérez Zeledón (San Pedro) y Turrialba (La Suiza), cuya altitud (msnm) y orden taxonómico del suelo tipificados como Inceptisol, Andisol y Ultisol (Chaves y Chavarría 2017), se indican a su vez en el Cuadro 5. Es importante reconocer que las dosis de N incorporadas no fueron iguales en el caso particular de algunas fuentes por recomendación expresa de las casas comerciales representantes de los productos en el país, aduciendo que, por su presunto efecto de reducción en las pérdidas, incremento en la eficiencia y consecuentemente mayor aprovechamiento del nutrimento, podía técnicamente aplicarse un ajuste que favoreciera y elevara la viabilidad financiera de los insumos en consideración a su mayor costo. Siguiendo esa recomendación la dosis de N fijada genéricamente en 140 kg/ha fue reducida en un 20% (-28 kg) en los casos del N-FORCE y PERLKA quedando por ello establecida en 112 kg/ha; en el caso del NITROXTEND y la UREA + S se aplicó un 15% menos (-21 kg) para dejarla en 119 kg/ha. El AGROCOTE redujo en un 28,6% (-39,9 kg) la adición de N quedando por ello fijada en 100 kg/ha. Por su parte, el tratamiento de LAST-N tuvo una reducción muy importante correspondiente al 40% equivalente a -56 kg de N, lo que estableció la dosis incorporada y evaluada en solo 84 kg/ha. Queda claro entonces, que el factor de ajuste correctivo provocó que la dosis básica de N de 140 kg/ha no fuera igual en todos los tratamientos, pudiendo por ello interferir y manifestarse en los resultados obtenidos. El Cuadro 4 es claro y descriptivo en estas relaciones, indicando además el número de aplicaciones y fraccionamiento efectuado en la aplicación del N en cada tratamiento, lo que afectó los costos.

Cuadro 3. Tratamientos y Fuentes Nitrogenadas evaluadas en seis localidades productoras de caña de azúcar de Costa Rica.

Producto	Composición química	Características
NITRO XTEND	46 % N	UREA enriquecida con AGROTAIN, componente que retarda la hidrólisis de la UREA, al inhibir el efecto de la enzima ureasa ayudando a reducir pérdidas por volatilización.
UREA + S	40 % N total, 6 % S (como SO ₄)	El RECUBRIMIENTO de S disminuye pérdidas por volatilización en más de un 35%
PERLKA	19,8% N total (+15 % N Cianamídico y menos 2 % de N Nitrato), Óxido de Calcio 50 %	Fertilizante N de LENTA LIBERACIÓN. Por procesos químicos el N va progresivamente haciéndose disponible para las plantas
LAST N (43-0-0)	43 % N	Fertilizante N de LIBERACIÓN CONTROLADA
N-FORCE	30 % N total	El N del N-FORCE se divide en 4 formas para dar una mejor nutrición evitando las pérdidas por volatilización y lixiviación en el perfil del suelo. Reduce la lixiviación de N hasta 110 días dependiendo de la precipitación y temperatura
	N Orgánico 1 %	
	N Amoniacal 3 %	
	N Ureico 24 %	
	Urea como Formaldehído 2 %	
	Azufre (SO ₄) 9 %	
	Carbono Orgánico 7,5 %	
Ácidos Húmicos 3 %		
Boro soluble en agua 0,01 %		
Zinc soluble en agua 0,01 %		
AGROCOTE (37 - 0 - 0)	37 % N	Fertilizante de LIBERACIÓN CONTROLADA recubierto por capa interna de azufre y capa externa de polímeros
NUTRÁN	33,5 % N	Producto tradicional
UREA	46 % N	Producto tradicional
SULFATO AMONIO	21 % N 23,7 % S (71,1 % S-SO ₄)	Producto tradicional
0 - 46 - 0	46 % P ₂ O ₅	Producto tradicional empleado como base general
CLORURO POTASIO	60 % K ₂ O; 47 % Cl	Producto Tradicional empleado como base general

Fuente: Chaves (2016).

Cuadro 4. Dosis de Nitrógeno (kg/ha) adicionada según tratamiento evaluado.

N°	FUENTE N	% N	Dosis N Recomendada (kg/ha) *	Ajustada y aplicada	Número Aplicaciones
1	NUTRÁN	33,5	100%	140	2
2	UREA	46	100%	140	2
3	SULFATO AMONIO	21	100%	140	2
4	NITRO XTEND	46	15% MENOS	119	2
5	UREA + S	40	15% MENOS	119	2
6	PERLKA	19,8	20% MENOS	112	1
7	AGROCOTE (37-0-0)	37	28,6% MENOS	100	1
8	N-FORCE	30	20% MENOS	112	1
9	LAST-N (43-0-0)	43	40% MENOS	84	1
10	TESTIGO	0	0 **	0	

Fuente: Chaves (2016).

* Corresponde a las dosis aplicadas según ajuste recomendado por las casas comerciales.

** Fertilización básica: 140 kg N + 150 kg P2O5/ha + 150 kg K2O/ha.

Los resultados de la cosecha del experimento en número de cortes diferente realizada sobre cuatro repeticiones de las variedades cultivadas, se muestran con detalle en los Cuadros 5, 6 y 7 para las variables de rendimiento industrial (kg sacarosa/t caña), producción de caña (t/ha) y cantidad de azúcar extraída y fabricada (t/ha), respectivamente. Se infiere de dichos resultados que estadísticamente el rendimiento industrial no mostró diferencias significativas (5%) entre tratamientos y localidades geográficas; lo que sí ocurrió con la producción de caña (t/ha) en las localidades guanacastecas de Cañas y Liberia y también en la Zona Sur. La producción de azúcar (t/ha) alcanzó diferencias (5% de probabilidad) solo en Liberia y la Zona Sur, lo que demuestra alguna excepcionalidad en esas localidades. El hecho de no alcanzar significancia estadística no implicó que no hubiese ni presentaran diferencias productivas y económicas importantes entre productos y regiones, como puede comprobarse en los resultados expuestos, lo que es comercialmente relevante.

A. Rendimiento Industrial (kg/t): El Cuadro 5 resume el resultado promedio alcanzado según producto y localidad, así como la media nacional estimada a partir de las pruebas experimentales.

Cuadro 5. Rendimiento Industrial (kg/t) según Fuente nitrogenada y región productora de caña.

N°	Fuente	Rendimiento Industrial (kg sacarosa/t caña)						Promedio	Diferencia % Testigo
		Cañas	Liberia	Grecia	San Carlos	Pérez Zeledón	Turrialba		
		Altitud (msnm)	12	80	875	91	560		
	Orden Suelo	Inceptisol	Inceptisol	Andisol	Ultisol	Ultisol	Ultisol		
	N° Cosechas *	4	2	1	4	3	3		
	Variedad Sembrada	NA 85-1602	CP 72-2086	RB 86-7515	LAICA 01-604	LAICA 04-825	B 77-95		
1	NUTRÁN	135,8	128,9	122,6	118,4	129,7	136,5	128,7	99
2	UREA	140,1	124,7	126,5	120,8	128,9	138,7	129,9	99
3	SULFATO AMONIO	139,4	128,0	128,1	119,1	125,4	138,4	129,7	99
4	NITRO XTEND	139,2	126,9	124,7	120,8	128,9	138,5	129,8	99
5	UREA + S	139,1	127,9	123,4	117,1	126,5	138,3	128,7	99
6	PERLKA	140,6	125,7	123,3	122,5	128,2	137,5	129,6	99
7	AGROCOTE	136,9	131,3	123,0	122,7	130,3	139,5	130,6	100
8	N-FORCE	140,6	127,6	123,8	119,6	130,7	137,4	129,9	99
9	LAST-N	138,9	125,7	120,6	118,7	128,1	138,2	128,4	98
10	TESTIGO (-N)	139,5	129,7	125,3	118,3	131,3	137,8	130,3	100
	PROMEDIO	139,0	127,6	124,1	119,8	128,8	138,1	129,6	
	CV (%)	2		7,14	3,96	2,09	1,88		

Fuente: Chaves (2016), Angulo et al (2015), Barrantes et al (2015), Calderón et al (2015), Ocampo et al (2015), DIECA (2015, 2016).

Nota: Tratamientos seguidos por la misma letra no difieren estadísticamente entre sí, según Tukey 5%. Donde no hay letra anotada implica que no hubo diferencias estadísticas probabilísticamente significativas.

Los resultados corresponden al promedio de cuatro repeticiones en cada localidad/cosecha/año.

* Fue diferente y variable entre regiones por diversas razones.

Cuadro 6. Respuesta productiva de caña (t/ha) según Fuente Nitrogenada y región productora de caña.

N°	Fuente	Toneladas Caña (t/ha)						Promedio	Diferencia % Testigo
		Cañas	Liberia	Grecia	San Carlos	Pérez Zeledón	Turrialba		
		Altitud (msnm)	12	80	875	91	560		
	Orden Suelo	Inceptisol	Inceptisol	Andisol	Ultisol	Ultisol	Ultisol		
	N° Cosechas *	4	2	1	4	3	3		
	Variedad Sembrada	NA 85-1602	CP 72-2086	RB 86-7515	LAICA 01-604	LAICA 04-825	B 77-95		
1	NUTRÁN	101,3 a	130,1 a	117,6	96,1	100,8 ab	149,9	116,0	114
2	UREA	87,8 ab	122,3 ab	117,1	95,8	94,8 ab	145,1	110,5	108
3	SULFATO AMONIO	99,8a	128,9 a	120,6	103	97,8 ab	133,2	113,9	112
4	NITRO XTEND	101,6 a	134,5 a	123,6	97,7	93,2 b	143,5	115,7	114
5	UREA + S	98,5 ab	132,1 a	128,3	97,2	102,2 a	144,3	117,1	115
6	PERLKA	95,6 ab	130,7 a	120,1	100,8	89,4 b	141,4	113,0	111
7	AGROCOTE	92,9 ab	127,8 a	122,8	97,1	100,3 ab	134,0	112,5	110
8	N-FORCE	93,5 ab	126,3 ab	123,6	99,5	99,9 ab	143,9	114,4	112
9	LAST-N	93,7 ab	128,4 a	115,0	97,2	91,0 b	135,9	110,2	108
10	TESTIGO (-N)	75,0 b	112,8 b	120,5	95,9	91,9 b	115,3	101,9	100
	PROMEDIO	94,0	127,3	120,9	98,0	96,1	138,6	112,5	
	CV (%)	8,89	4,53	6,86	3,68	3,19	11,13		

Fuente: Chaves (2016), Angulo et al (2015), Barrantes et al (2015), Calderón et al (2015), Ocampo et al (2015), DIECA (2015, 2016).

Nota: Tratamientos seguidos por la misma letra no difieren estadísticamente entre sí, según Tukey 5%. Donde no hay letra anotada implica que no hubo diferencias estadísticas probabilísticamente significativas.

Los resultados corresponden al promedio de cuatro repeticiones en cada localidad/cosecha/año.

* Fue diferente y variable entre regiones por diversas razones.

Se concluye de los resultados de esta variable, que los tratamientos PERLKA y N-FORCE adicionados en Cañas, Guanacaste, fueron en promedio los de mayor concentración de sacarosa (140,6 kg/t); mientras que UREA + S fue por el contrario el más bajo (117,1 kg/t) al aplicarse en la zona de San Carlos. Ninguno de los tratamientos en ninguna de las 6 localidades evaluadas marcó luego de las cosechas realizadas, virtud de su similitud y balance, diferencias estadísticas al 5% de probabilidad, demostrando no influir sobre la concentración de sacarosa, al menos con carácter estadístico, aunque si nominal.

Al procurar identificar de manera integral y genérica la mejor fuente de N, se tiene que en promedio para todas las localidades el AGROCOTE mostró la mejor concentración de sacarosa (130,6 kg/t); en tanto que el LAST-N fue por el contrario el más bajo (128,4 kg/t). El Testigo fue, como sucede por lo general en pruebas de fertilización que provocan estrés a la planta, bastante bueno en esta variable al lograr una media de 130,3 kg/t. El ámbito de variación individual por localidad y tratamiento fue importante (117,1-140,6 kg), marcando una diferencia de 23,5 kg/t equivalente al 20,1%. Al estimarlo en promedio según tratamiento fue menor (128,4 - 130,6 kg), casi insignificante, de apenas 2,2 kg/t (1,7%).

Al evaluar estabilidad y consistencia mediante una prueba de frecuencia posicional entre fuentes de N, se tiene que la mejor posición (suma + baja) la alcanzó el Testigo, seguido por la UREA, el AGROCOTE y el SULFATO DE AMONIO. Las más bajas fueron para el LAST-N y el NUTRÁN virtud de la inestabilidad y variabilidad en el comportamiento observado entre regiones agrícolas.

B. Producción de caña (t/ha): En el Cuadro 6 se exponen por su parte en forma resumida los resultados promedio de tonelaje de caña logrados según producto y localidad, así como la media nacional alcanzada en las 6 pruebas experimentales realizadas.

Integral y comparativamente los resultados promedio finales de los 6 experimentos evaluados muestran diferencias en magnitud y también estadística en esta variable; donde hubo diferencias al 5% de probabilidad en las localidades de Cañas y Liberia y también en la Zona Sur. El tratamiento de NUTRÁN adicionado en Turrialba, fue en promedio el que más tonelaje de caña (149,9 t/ha) produjo; mientras que el Testigo fue por el contrario el más bajo (75,0 t/ha) al evaluarse en Cañas, Guanacaste, revelando la importancia de incorporar el N en esa localidad. Las fuentes de NUTRÁN, SULFATO DE AMONIO y NITRO XTEND evaluadas en las dos localidades Guanacastecas, marcaron en promedio luego de las cosechas realizadas, posiciones destacadas en productividad de caña (t/ha) con diferencias estadísticas al 5%. Lo mismo aconteció con UREA+S en Liberia y la Zona Sur.

Al procurar identificar integralmente en términos geográficos la mejor fuente de N, se encontró que en promedio para todas las 6 localidades estudiadas la UREA + S mostró la mejor productividad de caña (117,1 t/ha); en tanto que el Testigo por el contrario la más baja (101,9 t/ha). El Testigo fue el tratamiento de menor productividad en Cañas, Liberia y Turrialba. El ámbito de variación individual por localidad y fuente fue de 75,0 - 149,9 t/ha, evidenciando una importante diferencia de 74,9 t/ha equivalente al 100%. Al evaluarla en promedio por fuente fue menor (101,9 - 117,1 t/ha), para una importante diferencia de 15,2 t/ha (14,9%) que sin embargo no marcó diferencia estadística.

En estabilidad y consistencia según la prueba de frecuencia posicional realizada entre fuentes de N, se tiene que la mejor posición (suma + baja) la alcanzó la UREA + S, seguida por NITRO XTEND, NUTRÁN y el SULFATO DE AMONIO. Las más bajas fueron en su orden el Testigo, la UREA, LAST-N y el AGROCOTE virtud de la inestabilidad y variabilidad mostrada en su comportamiento entre regiones.

C. Producción de Azúcar (t/ha): el Cuadro 7 detalla y resume para esta variable fabril los resultados promedio alcanzados según

fuente de N y localidad evaluada en los 6 experimentos realizados, mostrando asimismo la media nacional de producción alcanzada.

Cuadro 7. Producción de Azúcar (t/ha) según Fuente Nitrogenada y región productora de caña.

N°	Fuente	Producción Azúcar (t/ha)						Promedio	Diferencia % Testigo
		Cañas	Liberia	Greccia	San Carlos	Pérez Zeledón	Turrialba		
		Altitud (msnm)	12	80	875	91	560		
	Orden Suelo	Inceptisol	Inceptisol	Andisol	Ultisol	Ultisol	Ultisol		
	N° Cosechas *	4	2	1	4	3	3		
	Variedad Sembrada	NA 85-1602	CP 72-2086	RB 86-7515	LAICA 01-604	LAICA 04-825	B 77-95		
1	NUTRÁN	13,81	17,28 ab	14,39	11,54	13,02 a	20,23	15,04	112
2	UREA	12,38	15,54 ab	14,80	11,91	12,17 ab	19,86	14,44	108
3	SULFATO AMONIO	13,99	16,87 ab	15,46	12,43	12,22 ab	18,32	14,88	111
4	NITRO XTEND	14,19	17,45 a	15,34	11,81	12,00 ab	19,79	15,10	113
5	UREA + S	13,73	17,25 ab	15,87	11,57	12,85 ab	19,82	15,18	113
6	PERLKA	13,48	16,80 ab	14,73	12,67	11,47 b	19,15	14,72	110
7	AGROCOTE	12,77	17,27 ab	15,16	11,64	13,01 a	18,53	14,73	110
8	N-FORCE	13,17	16,43 ab	15,29	12,20	13,06 a	19,51	14,94	112
9	LAST-N	13,03	16,56 ab	13,91	11,63	11,64 b	18,60	14,23	106
10	TESTIGO	10,47	14,98 b	15,09	11,87	12,13 ab	15,87	13,40	100
	PROMEDIO	13,10	16,62	15,00	11,93	12,36	18,97	14,67	
	CV (%)	9,77	6,01	9,02	4,11	3,45	10,52		

Fuente: Chaves (2016), Angulo et al (2015), Barrantes et al (2015), Calderón et al (2015), Ocampo et al (2015), DIECA (2015, 2016).

Nota: Tratamientos seguidos por la misma letra no difieren estadísticamente entre sí, según Tuckey 5%. Donde no hay letra anotada implica que no hubo diferencias estadísticas probabilísticamente significativas.

Los resultados corresponden al promedio de cuatro repeticiones en cada localidad/cosecha/año.

* Fue diferente y variable entre regiones por diversas razones.

La valoración integral y comparativa de los resultados promedio finales de los 6 experimentos muestran diferencias en magnitud y también estadística para esta variable tan determinante y trascendente; donde hubo diferencias al 5% de probabilidad solo en las localidades de Liberia y Zona Sur. En esta variable productiva, el tratamiento de NUTRÁN adicionado en Turrialba, fue en promedio el que más tonelaje de azúcar (20,23 t/ha) produjo; mientras que el Testigo fue por el contrario el más bajo (10,47 t/ha) al evaluarse en Cañas, Guanacaste, revelando nuevamente la importancia de incorporar N en esa localidad. El tonelaje de caña influyó e influyó de manera decisiva y determinante en este resultado.

Independientemente la fuente de NITRO XTEND evaluada en Liberia y N-FORCE y AGROCOTE en la Zona Sur, marcaron en promedio luego de las cosechas realizadas, posiciones destacadas en productividad de azúcar (t/ha) entre todos los tratamientos con diferencia estadística al 5% de probabilidad. Al identificar integralmente para las regiones la mejor fuente de N, se encontró que en promedio para todas las 6 localidades estudiadas la UREA + S mostró la mejor productividad de azúcar (15,18 t/ha); en tanto que el Testigo por el contrario el más bajo (13,40 t/ha). El Testigo fue a su vez el tratamiento de menor productividad en Cañas, Liberia y Turrialba, lo que no resulta extraño por la función, importancia y funcionalidad del nutrimento (Chaves 1999b).

El ámbito de variación individual por localidad y fuente fue de 10,47 - 20,23 t/ha, evidenciando una diferencia de 9,76 t de azúcar/ha equivalente al 93,2%. Al evaluarlo en promedio por fuente este fue menor (13,40 - 15,18 t/ha), para una importante diferencia de 1,78 t/ha (13,3%) que pese a todo no marcó diferencia estadística. En estabilidad y consistencia según la prueba de frecuencia posicional

realizada entre fuentes de N, se tiene que la mejor posición (suma + baja) la alcanzó el NITRO XTEND, seguida por la UREA + S, el SULFATO DE AMONIO y el NUTRÁN. Las más bajas fueron en su orden el Testigo y el LAST-N virtud de la inestabilidad y variabilidad mostrada en su comportamiento entre regiones.

D. Fuentes de N: La mejor fuente de N resultó ser la UREA + S al ocupar el primer lugar en cuanto a productividad de caña y azúcar (t/ha); seguida por el NITRO XTEND (segundo en azúcar) y NUTRÁN (tercero en azúcar). La concentración de sacarosa (kg/t) de esos tratamientos fue sin embargo baja ocupando los mismos la 8^{ava}, 5^{ta} y 9^{na} posición, respectivamente, respecto al mejor tratamiento. El N-FORCE sin ser la mejor es una fuente de N muy estable colocándose en la cuarta posición para las tres variables de productividad expuestas. El Testigo fue por su parte, el tratamiento que menos caña y azúcar produjo, aunque ocupó el segundo lugar en concentración de sacarosa, luego del AGROCOTE.

E. **Relación económica:** En consideración de su trascendencia en los resultados, derivaciones y conclusiones, pero sobre todo en la decisión de poder acceder con criterio confiable a su empleo, se realizó una valoración de índole económico a cada tratamiento relacionando costos por insumo, aplicación y cosecha. De acuerdo con la información proporcionada en esa oportunidad (abril del 2016) por las casas comerciales representantes de las fuentes nitrogenadas evaluadas, el costo por concepto del producto y aplicación de las fuentes proyectado a una hectárea es el siguiente: PERLKA (us\$1.771); N-FORCE (us\$533); SULFATO AMONIO (us\$293); AGROCOTE (us\$247); NUTRÁN (us\$203); LAST-N (us\$202); NITRO XTEND (us\$172); UREA (us\$170) y UREA + S (us\$162). El valor de cambio fue en ese momento de 1 us\$ = ₡541,83. El Testigo no tiene costo por este rubro virtud de no incorporar N y ser la adición de P-K común e igual para todos los tratamientos. Las Fuentes PERLKA y N-FORCE salen de contexto y posibilidad comercial por su alto costo.

Al integrar y agregar la producción de caña (t/ha) al costo por fertilización (¢/ha), resulta ser PERLKA, como era esperable, el tratamiento más oneroso superando al Testigo en un impactante +139% correspondiente a ₡1.043.140. Por costo, los otros tratamientos más caros fueron en su orden: N-FORCE (+51%), SULFATO AMONIO (+33%), NUTRÁN (+29%), AGROCOTE (+28%), UREA + S (+27%), NITRO XTEND (+26%), LAST-N (+23%) y UREA (+21%), respectivamente. En promedio todas las fuentes de N superaron al Testigo en un 38%, lo que ratifica su importancia. El bajo costo del Testigo viene generado por su baja productividad (bajo costo x cosecha) y no aplicar N. La UREA + S y la UREA son por tanto las dos fuentes nitrogenadas más accesibles por su efecto productivo favorable y su bajo costo.

En términos generales las utilidades finales fueron bajas y restrictivas en varios tratamientos debido al alto costo que mantienen las fuentes nitrogenadas y la relativa baja productividad obtenida con su

aplicación. Al vincular y relacionar los ingresos generados respecto a los costos incurridos por la aplicación de los fertilizantes, se encontró que la mayor utilidad (€/ha) la generó la aplicación de N con UREA + S, la cual incrementó en promedio la misma en un 7%. Hubo tres fuentes que alcanzaron una utilidad final inferior al tratamiento Testigo sin N, como fueron PERLKA (-50%), N-FORCE (-7%) y LAST-N (-2%), respectivamente, lo que acontece por su elevado costo unitario y relativa baja producción, dejándolas fuera de posibilidad.

En orden de relevancia y viabilidad comercial por su utilidad final (€/ha), las fuentes de N más rentables fueron: UREA + S (7%); NITRO XTEND (6%); NUTRÁN (5%); UREA (2%); AGROCOTE (1%) y SULFATO AMONIO (1%), el resto de los tratamientos no fueron como se indicó, rentables, lo que cuestiona y limita su empleo. Favorecida por la baja rentabilidad del PERLKA (-50%), el promedio de todas las fuentes nitrogenadas fue inferior al Testigo en un 4%. El Testigo alcanzó la mayor y mejor Relación B/C con un índice de 3,16, seguido por la UREA, UREA + S y NITRO XTEND con 2,82. El PERLKA verificó en este caso un índice de apenas 1,45.

Resulta claro interpretando objetivamente los resultados, que no existe paralelismo entre eficiencia productiva y viabilidad económica y comercial.

F. Conclusiones: De acuerdo con los resultados obtenidos, no queda ninguna duda que el N es un nutrimento esencial y determinante para la productividad agroindustrial y la prolongación de la vida comercial de las plantaciones de caña de azúcar, lo cual debe sin embargo regularse y optimizarse por la afectación que puede provocarse a los ecosistemas y la atmósfera.

Hubo diferencias importantes en la respuesta productiva entre regiones cañeras lo que limita e impide realizar generalizaciones. El mejor rendimiento industrial (kg/t) lo generó el empleo de PERLKA y N-FORCE en Cañas, Guanacaste. El más bajo aconteció con la UREA + S en San Carlos. En promedio para las seis regiones estudiadas, el AGROCOTE alcanzó por su parte la mejor concentración de sacarosa, y el LAST-N por el contrario el más bajo.

La mayor Producción de Caña (t/ha) se alcanzó con la adición de NUTRÁN en Turrialba y la menor se dio con el Testigo en la zona de Cañas. Como promedio para las seis regiones estudiadas, la UREA + S obtuvo el mayor tonelaje y el Testigo el más bajo, para una diferencia de 14,9% entre ambos. En Producción de Azúcar (t/ha) el NUTRÁN consiguió la mayor producción en Turrialba y el Testigo en Cañas el más bajo, con una contundente diferencia del 93,2%. Como promedio nacional fue la UREA + S la fuente que más azúcar produjo y el Testigo la más baja, con una variación del 13,3% entre ambos. No hay duda de que el ajuste de la dosis de N traducido en una menor adición de N resultó crítico para la efectividad productiva agroindustrial de algunas fórmulas. Incrementarlas eleva sin embargo su costo y cuestiona entonces su viabilidad financiera y posible uso comercial. Se ratifica la

necesidad de relacionar y vincular en la decisión final que se adopte costos y productividad.

G. Recomendaciones: Para efectos de aprovechar los resultados obtenidos se sugiere continuar con la investigación de nuevas fuentes comerciales nitrogenadas, particularmente con la UREA + S y el NITRO XTEND por los buenos resultados productivos obtenidos en estos ensayos. De igual manera, hay fuentes como PERLKA y N-FORCE que poca posibilidad comercial tienen en consideración a su alto costo lo que cuestiona y desestima insistir y proseguir con su evaluación.

Pareciera por todo esto razonable y prudente revisar las cantidades de N adicionadas comercialmente en el país, con el objeto de estudiar con objetividad la viabilidad de reducir las sin afectar los índices de productividad agroindustrial, sobre todo en ciclo planta (Chaves 2021c). La valoración debe operarse desde una perspectiva productiva, económica y también ambiental.

Es fundamental investigar la respuesta del N respecto a variedades comerciales, sistemas de manejo y ordenes de suelo diferentes. Queda nuevamente ratificado que la nutrición del cultivo es un concepto dinámico e integral y así debe operarse en el campo, por lo que las fuentes comerciales de fertilizantes utilizadas deben visualizar la función y funcionalidad de los nutrimentos adicionados.

Resulta imperativo y obligado incorporar e implementar criterios de optimización nutricional mediante la adopción de una Agricultura de Precisión en las dosis incorporadas, los criterios y los equipos empleados en su adición en el campo.

Conclusión

Cita la literatura que más del 60% de los fertilizantes utilizados cada año en la agricultura mundial corresponden a fertilizantes nitrogenados; ahí la relevancia del nutrimento y también la trascendencia y necesidad de actuar y educar en lo concerniente a su uso apropiado y manejo técnico correcto, lo cual pese a los ingentes esfuerzos realizados por parte de las entidades responsables, continúa siendo hoy día un asunto cuestionado por los daños y efectos contraproducentes que provoca sobre la biodiversidad, la atmósfera, las fuentes acuíferas, el suelo y los alimentos de consumo humano.

El tópico de los fertilizantes y la fertilización debe por tanto ser constantemente revisado y de estimarlo necesario, ajustado y alineado a los patrones que minimicen sus impactos negativos, incrementen su eficiencia y optimicen su empleo. Para lograr una mayor eficiencia técnica y un uso óptimo de los fertilizantes nitrogenados en la caña de azúcar, deben considerarse en primera instancia dos grandes dimensiones: *el producto y su empleo*; lo cual en el primer caso presenta limitantes por la carencia de productos comerciales con viabilidad técnica-ambiental y factibilidad económica.

Atendiendo y respetando los principios ambientales vigentes, es conveniente considerar en este esfuerzo tecnológico, comercial e institucional varios elementos protocolarios, como son entre otros los siguientes:

- 1) Seleccionar la o las fuentes de N más convenientes a la condición particular del entorno agro productivo, interpretando factores determinantes e influyentes como son la lluvia (mm), la temperatura (°C), las características fisicoquímicas del suelo, los contenidos de materia orgánica presentes, el índice de acidez, el grado de fertilidad actual del suelo, las características del relieve y el potencial de mecanización presente, entre otras.
- 2) Seleccionar y discriminar con base en criterios técnicos validados y bien fundamentados el empleo opcional de urea, nitratos o fertilizantes amoniacales.
- 3) Para evitar pérdidas por volatilización, desnitrificación y lixiviación con efectos directos sobre la emisión de Gases con Efecto Invernadero (GEI) y la contaminación de fuentes acuíferas, resulta imperativo utilizar en asocio con otras medidas, fuentes nitrogenadas especiales de liberación controlada y retardada, inhibidores de ureasa y nitrificación y nitrógeno estabilizado.
- 4) Corregir y acondicionar de ser necesario el suelo previo a la aplicación del N para elevar su eficiencia.
- 5) Conocer con la aproximación deseada y necesaria la dosis (kg/ha) requerida y de mejor respuesta basada en investigación, experimentación o antecedentes productivos anteriores.
- 6) Procurar de ser económicamente viable fraccionar la aplicación, sobre todo en localidades de alta precipitación y/o suelos de textura arenosa como la Zona Norte, Turrialba-Juan Viñas y Zona Sur. La posibilidad de mecanizar la aplicación da sustento y viabilidad a esta iniciativa. Resulta interesante revisar la posibilidad de reducir la dosis de N fraccionando hasta en tres aplicaciones la aplicación en zonas altas (>1.000 msnm) y con ciclo vegetativo largo (18-24 meses), con el objeto de minimizar pérdidas potenciales, decisión que responde estrictamente a una valoración técnico-productiva con trasfondo económico. Es una opción para condiciones financieras limitantes.
- 7) Asegurar en lo posible la incorporación del fertilizante en el suelo, sobre todo en zonas de alta temperatura o fuertes lluvia con terrenos pendientes.
- 8) En zonas con presencia de periodos secos (régimen de humedad Ústico) como Guanacaste y el Pacífico Central, resulta importante contar con riego suplementario al fertilizar.
- 9) Hay que asegurar que la aplicación del fertilizante se realice en el momento fenológico más adecuado de la plantación, preferiblemente antes de los 45 días luego de sembrar o cosechar en el caso del N y en ciclos vegetativos de 12 meses. En ciclos bianuales (18-24 meses) debe ser preferiblemente antes de los 6-7 meses. El potencial mecanizable es determinante por razones de costos en esta decisión.

- 10) Cualquier decisión técnico-administrativa con enfoque económico que se adopte no puede ni debe sacrificar nunca productividad, pues sería contraproducente al interés empresarial, salvo las que tengan algún trasfondo ambiental evidente que procure la ecoeficiencia como requerimiento del mercado de destino. El destino de los productos es igualmente determinante en la decisión, si corresponde a mercados orgánicos o regulados por certificaciones y protocolos de naturaleza ambiental.

Pese a contar con un antecedente largo de investigación y existir la posibilidad de incursionar con estos fertilizantes favorables para las nuevas condiciones de mercado y producción impuestas en la actualidad, existe aún una relativa renuencia y baja aceptación por parte de los agricultores, la cual viene sin embargo creciendo con el tiempo. Los motivos y razones aludidas para justificar ese comportamiento son de índole mediático y también coyuntural, como son entre otras las siguientes: 1) altos precios y valor unitario por su adquisición lo que eleva significativamente los costos de producción asociados, 2) indisponibilidad comercial para accederlos con facilidad, 3) se carece de investigación validada suficiente que sustente y de confianza para su empleo, 4) su adición no marca diferencia ni se traduce en incrementos significativos de productividad respecto a las fuentes nitrogenadas tradicionales, 5) el margen de rentabilidad, valor agregado y tasa de retorno es baja y poco competitiva, 6) faltan y deben formularse, implementarse y validarse modalidades de aplicación que incorporen ajustes en la dosis incorporada presumiendo una mayor eficiencia por menos pérdida de N e incremento en su eficiencia, 7) hay aún poca conciencia ambiental sobre el importante beneficio ecológico generado con el empleo de estos nuevos productos, 8) hay carencia de mayor rigor en las medidas y protocolos regulatorios implementados, 9) campañas informativas y educativas limitadas e insuficientes que aporten credibilidad a las nuevas opciones comerciales y 10) el grado de desinformación prevaeciente es muy alto, aún a nivel técnico-profesional. Es sobre esos elementos donde debe actuarse y enfatizarse para dar viabilidad al uso de estos nuevos y modernos fertilizantes, caso contrario, será poco y muy lento el avance esperado.

Como anotara Melgar (2005) en torno al tema *“Los productos fertilizantes de mejor eficiencia proporcionan una solución económica para algunos segmentos o nichos de mercado, caracterizado por cultivos de alto valor. Para muchos otros cultivos, el uso de aplicaciones divididas de fertilizantes solubles estándares es una alternativa viable para aumentar la eficiencia de uso de nutrientes. El costo de las aplicaciones divididas fijará el marco para el precio adicional que el productor puede está dispuesto a pagar por fertilizantes de mayor eficiencia.*

Los fertilizantes de mayor eficiencia no son nuevos, existen en el mercado desde décadas y su uso ha venido creciendo. La alícuota del mercado total, sin embargo, sigue siendo muy baja, debido al hecho de que son mucho más caros que los fertilizantes convencionales.

Solamente los segmentos de cultivos de alto valor pueden cubrir el costo adicional para ese tipo de productos.

Las perspectivas de los productos de mayor eficiencia dependen del costo futuro de los productos y de las alternativas para aumentar la eficiencia de uso de nutrientes. Una alternativa importante para mejorar la eficiencia de uso de los fertilizantes es la aplicación dividida ó parcelada de los fertilizantes tradicionales. En muchos cultivos las dos estrategias dan lugar a eficiencias de uso muy similares. La estrategia de una única aplicación de fertilizantes se sigue con el desafío de decidir la dosis correcta desde el principio a la siembra. El uso de aplicaciones divididas proporciona la posibilidad de ajustar la oferta de nutrientes durante el ciclo de crecimiento. En agricultura mecanizada moderna, el costo de un mayor número de aplicaciones de fertilizantes es relativamente bajo, lo que hacen de éste, un concepto muy competitivo”

No cabe la menor duda que los fertilizantes de liberación controlada, lenta y estabilizados, tendrán una mayor acogida y empleo en el campo en el tanto se demuestre comparativamente su viabilidad técnica, su factibilidad económica, su ventaja productiva y su beneficio ambiental, respecto a las fuentes nitrogenadas tradicionales de uso actual. Resulta por ello imperativo, necesario e insoslayable demostrar que con el ahorro generado por tener pérdidas menores que resultan y se convierten en ahorros tangibles del nutrimento, complementadas con el incremento de la eficiencia alcanzada en el uso del N, puede lograrse un balance y equilibrio razonable que supere el argumento del alto costo económico implicado. No puede omitirse ni dejar de mencionar como ventaja principal la reducción permisible en la dosis de N incorporada y también en el número de aplicaciones implicadas unificándola en una sola. Es entendible, razonable y sensato mencionar que las empresas y los agricultores deben evitar caer en “modas comerciales” para adquirir nuevos fertilizantes (inteligentes) sin contar con la debida, obligada y pertinente comprobación técnica y económica que demuestre la viabilidad y factibilidad técnico-económica de los productos recomendados; hay en todo esto una verdad innegociable: no se puede ni debe sacrificar productividad agroindustrial (Figura 3).

Una ventaja importante es que buena parte de los fertilizantes comerciales de uso actual en el país, ya traen incorporados mecanismos de mitigación de esta naturaleza, lo cual debe sin embargo pagarse con la consecuencia ya comentada. Estos argumentos deben motivar y obligar a los organismos responsables de investigar, innovar y transferir tecnología, como es el caso de DIECA, el INTA, la Academia y las empresas comerciales, a generar resultados que demuestren la factibilidad y viabilidad de empleo de estas nuevas e interesantes opciones nutricionales; el tiempo es sin embargo en este caso limitado, lo que obliga actuar ya pues el tiempo apremia.



Figura 3. La nutrición asegura estabilidad y productividad agroindustrial.

Literatura citada

- Angulo Marchena, A.; Alfaro Portugués, R.; Ocampo Chinchilla, R. 2015. **Efecto de nueve fuentes de fertilizantes nitrogenados sobre los rendimientos agroindustriales de la caña de azúcar (*Saccharum spp.*), promedio de cuatro cosechas.** DIECA-UTN, Cañas, Guanacaste, 2015. En: Congreso Tecnológico DIECA 2015, 6, Coopervictoria, Grecia, Alajuela, Costa Rica. Memoria Digital. Departamento de Investigación y Extensión de la Caña de Azúcar (DIECA), 20 y 21 de agosto. 13 p.
- Association of American Plant Food Control Officials (AAPFCO), Inc. 1995. West Lafayette, Indiana, USA. 40.
- Association of American Plant Food Control Officials (AAPFCO). 2012. **Product Label Guide.** 24 p. Consultado el 10 de noviembre 2021. Disponible en: https://agr.mt.gov/_docs/fertilizer-docs/AAPFCO_FertandSoilLabelingGuide_2012.pdf
- Ballester-Olmos, J.F. 1995. **Abonos nitrogenados de liberación lenta.** Valencia, España. Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias, Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Hojas divulgadoras Num. 3/94 HD. 20 p.

- Barrantes Mora, J.C.; Alfaro Portuguez, R.; Ocampo Chinchilla, R. 2015. **Evaluación agroindustrial de cinco fuentes nitrogenadas de lenta liberación respecto a cuatro fuentes nitrogenadas tradicionales en caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.)**. En: Congreso Tecnológico DIECA 2015, 6, Coopevictoria, Grecia, Alajuela, Costa Rica. Memoria Digital. Departamento de Investigación y Extensión de la Caña de Azúcar (DIECA), 20 y 21 de agosto. 12 p.
- 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.
- Calderón Araya, G.; Alfaro Portuguez, R.; Ocampo Chinchilla, R. 2015. **Evaluación de nueve fuentes de fertilizantes nitrogenados en la región de Turrialba, Costa Rica, con las variedades de caña de azúcar B77-95. Promedio de Tres Cosechas**. En: Congreso Tecnológico DIECA 2015, 6, Coopevictoria, Grecia, Alajuela, Costa Rica. Memoria Digital. Departamento de Investigación y Extensión de la Caña de Azúcar (DIECA), 20 y 21 de agosto. 16 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, M.; Bermúdez, A. 1999. **Por una mayor conciencia ambiental en el sector azucarero**. En: Congreso de ATACORI "Randall E. Mora A.", 13, Carrillo, Guanacaste, Costa Rica, 1999. Memoria. San José, Asociación de Técnicos Azucareros de Costa Rica (ATACORI), setiembre. p: 274-278.
- Chaves, 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.
- Chaves Solera, M. 1999b. **El Nitrógeno, Fósforo y Potasio en la caña de azúcar**. San José, Costa Rica. LAICA-DIECA, setiembre. 130 p.
- Chaves Solera, M. 2010. **Dinámica del Nitrógeno en el suelo y la planta de caña de azúcar**. San José, Costa Rica. LAICA-DIECA, noviembre. Presentación Electrónica en Power Point. 57 Láminas.
- Chaves Solera, M.A. 2015. **Errores y omisiones técnico-administrativas que sacrifican productividad y cuestan dinero en la agroindustria azucarera**. San José, Costa Rica. LAICA-DIECA, febrero. 16 p.
- Chaves Solera, M.A. 2016. **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.
- Chaves Solera, M.A. 2017. **Suelos, nutrición y fertilización de la caña de azúcar en Costa Rica**. En: Seminario Internacional Producción y Optimización de la Sacarosa en el Proceso Agroindustrial, 1, Puntarenas, Costa Rica, 2017a. Memoria Digital. San José, Costa Rica, Asociación de Técnicos Azucareros de Costa Rica (ATACORI), octubre 10 al 12, Hotel Double Tree Resort by Hilton. 38 p.
- Chaves Solera, M.A.; 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.
- Chaves Solera, M.A. 2019a. **Entornos y condiciones edafoclimáticas potenciales para la producción de caña de azúcar orgánica en Costa Rica**. En: Seminario Internacional: *Técnicas y normativas para producción, elaboración, certificación y comercialización de azúcar orgánica*. Hotel Condovac La Costa, Carrillo, Guanacaste, Costa Rica, 2019. Memoria Digital. San José, Costa Rica, Asociación de Técnicos Azucareros de Costa Rica (ATACORI), 15, 16 y 17 de octubre, 2019. 114 p.
- Chaves Solera, M.A. 2019b. **Ambiente agro climático y producción de caña de azúcar en Costa Rica**. Boletín Agroclimático (Costa Rica) 1(18): 5-10, noviembre-diciembre.
- Chaves Solera, M.A. 2020. **Agroclimatología y producción competitiva de caña de azúcar en Costa Rica**. Boletín Agroclimático (Costa Rica) 2(24): 5-13, noviembre.
- Chaves Solera, M.A. 2021a. **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.
- Chaves Solera, M.A. 2021b. **Fijación biológica de nitrógeno atmosférico (N₂) por la caña de azúcar: un importante potencial por aprovechar**. Boletín Agroclimático (Costa Rica) 3(15): 7-24, julio.
- Chaves Solera, M.A. 2021c. **¿Cuánto Nitrógeno se aplica en las plantaciones comerciales de caña de azúcar en Costa Rica?** Boletín Agroclimático (Costa Rica) 3(17): 5-26, agosto.
- Chaves Solera, M.A. 2021d. **Óxido nitroso (N₂O) y uso del nitrógeno en la caña de azúcar**. Boletín Agroclimático (Costa Rica) 3(19): 5-29, setiembre.
- Chaves Solera, M.A. 2021e. **Nitrificación y pérdidas potenciales de nitrógeno en suelos cañeros**. Boletín Agroclimático (Costa Rica) 3(20): 6-24, setiembre.

- Chaves Solera, M.A. 2021f. **Amonificación y volatilización de nitrógeno en suelos cañeros.** Boletín Agroclimático (Costa Rica) 3(21): 6-22, octubre.
- DIECA. 2015. **Resultado de las investigaciones ejecutadas por el programa de agronomía en el cultivo de la caña de azúcar en Costa Rica durante el año 2014.** Grecia, Costa Rica. DIECA-LAICA. Mayo. 90 p.
- DIECA. 2016. **Resultado de las investigaciones ejecutadas por el programa de agronomía en el cultivo de la caña de azúcar en Costa Rica durante el año 2015.** Grecia, Costa Rica. DIECA-LAICA. Marzo. 90 p.
- Eakin Jr., J.H. 1976. **Alimentos e Fertilizantes.** En: Manual de Fertilizantes. Segunda edição. Washington, EUA. The Fertilizer Institute. Traducido y adaptado por IPT-CEFER, Brasil. p: 1-23.
- Jiménez Gómez, S. 1992. **Fertilizantes de liberación lenta: Introducción. Fertilizantes de liberación lenta.** Jiménez Gómez, S. Ed., Mundi-Prensa. Madrid, 1-7.
- Malavolta, E. 1979. **ABC da Adubação.** 4ª ed. São Paulo: Editora Agronômica Ceres Ltda. p: 25-39.
- Malavolta, E. 1980. **Elementos de Nutrição Mineral de Plantas.** São Paulo: Editora Agronômica Ceres Ltda. 254 p.
- Malavolta, E. 1981. **Manual de Química Agrícola: Adubos e Adubação.** 3ª ed. São Paulo: Editora Agronômica Ceres Ltda. p: 31-96.
- Meléndez, G.; Molina, E. 2003. **Fertilizantes: características y manejo.** CIA/UCR/ACCS/ COSTACAN. San José, Costa Rica, 18-19 julio. 139 p.
- Melgar, R. 2005. **Nuevos productos de fertilizantes.** Resumen de los principales conceptos e información presentada en el Taller Internacional de Fertilizantes de Eficiencia Mejorada. IFA, International Fertilizer Industry Association. Frankfurt, Alemania. 28-30 junio.
- Montenegro Ballester, J.; Chaves Solera, M. 2011. En: **Contribución del sector cañero a la mitigación del cambio climático.** 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.
- Montenegro Ballester, J.; Chaves Solera, M. 2012. **Estimación de la emisión Óxido Nitroso (N₂O) por región productora de caña de azúcar en Costa Rica. Primera aproximación.** En: Congreso Tecnológico DIECA 2012, 5, Coopevictoria, Grecia, Alajuela, Costa Rica. Memoria. Departamento de Investigación y Extensión de la Caña de Azúcar (DIECA), 5,6 y 7 de setiembre del 2012. 15 p.
- Nutralene, A. 1993. **Nitroform, AZOLON-Biologically. Controlled Nitrogen Release.**
- Ocampo Chinchilla, R.; Alfaro Portuguez, R.; Araya Vindas, A. 2015. **Evaluación del efecto de 9 diferentes fuentes de fertilizantes nitrogenados sobre el rendimiento de la caña de azúcar (*Saccharum spp*) variedad LAICA 01-604 en un suelo Ultisol de la Región Norte de Costa Rica. Promedio de tres cosechas.** En: Congreso Tecnológico DIECA 2015, 6, Coopevictoria, Grecia, Alajuela, Costa Rica. Memoria Digital. Departamento de Investigación y Extensión de la Caña de Azúcar (DIECA), 20 y 21 de agosto. 12 p.

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