

# RESULTADOS DE INVESTIGACIÓN CON EL USO DEL NITRÓGENO EN LA CAÑA DE AZÚCAR EN COSTA RICA

Marco A. Chaves Solera<sup>1</sup>

Ingeniero Agrónomo, MSc. Gerente. *Departamento de Investigación y Extensión de la Caña de Azúcar (DIECA-LAICA)*, Costa Rica. E-mail: [mchavez@laica.co.cr](mailto:mchavez@laica.co.cr). Teléfono (506) 2284-6066 / (506) 2284- 6067 / Fax (506) 2223-0839.

## Resumen

La experiencia obtenida por la investigación en caña de azúcar con el uso del Nitrógeno en Costa Rica, ratifica la importancia y necesidad del nutrimento como factor de productividad agroindustrial y rentabilidad empresarial. La particular y especial función y funcionabilidad del nutrimento obligan al uso prudente, técnico y racional, virtud del impacto negativo y positivo provocado sobre los rendimientos agroindustriales, el ambiente y los costos vinculados. Las condiciones variables y heterogéneas del entorno productivo nacional impiden y prohíben las generalizaciones tecnológicas, motivo por el cual lo concerniente a variedades sembradas, fuentes, dosis, épocas y manejo del N, deben adaptarse imperativa y obligadamente a la diversidad edafo climática prevaleciente en el país. La respuesta del nutrimento a su adición al suelo es incuestionablemente positiva y favorable, lo que debe conducir a maximizar su beneficio y optimizar sus costos y su utilización. El empleo de fuentes ambiental y técnicamente aceptadas virtud de su menor impacto negativo debe promoverse e impulsarse, campo en el cual la investigación participa de manera directa y decidida. La agricultura de precisión y de sitio es la respuesta futura a poder materializar esa pretensión, por lo cual institucional y empresarialmente debe accionarse con decisión en esa orientación. La producción agroindustrial eficiente, rentable y competitiva de caña de azúcar sin uso de N no tiene cabida, por lo cual el elemento va directa, inequívoca e insoslayablemente asociado a esos principios.

**Palabras clave: Caña de Azúcar, Costa Rica, Fertilización, Nitrógeno**

---

<sup>1</sup> Presentado en: *Congreso de la Asociación de Técnicos Azucareros de Latinoamérica y El Caribe (ATALAC), 10, y Congreso de la Asociación de Técnicos Azucareros de México (ATAM), 38. Memoria Digital y Resúmenes. Setiembre 2016, Veracruz, México. 26 p.*

## **Introducción**

No cabe la menor duda en aceptar que el N es posiblemente el elemento nutricional más utilizado e investigado en la agricultura mundial, de lo cual la agroindustria azucarera no escapa. Su importancia radica en sus efectos e impactos directos, tanto positivos como negativos que genera, lo que demanda y exige un uso prudente y racional. Está demostrado que el N es un determinante e incuestionable inductor de crecimiento y productividad de caña y azúcar que se manifiesta en altos tonelajes; aunque también puede, mal empleado, incrementar los costos de producción, deteriorar la calidad de los jugos reduciendo la concentración de sacarosa y contaminar fuentes hídricas (CHAVES 1997a, 1999b).

Está suficientemente demostrado que el N puede perderse por exudación en raíces, también por volatilización en la sección aérea, principalmente amonio, por reacciones en el suelo y por lixiviación de compuestos solubles en el agua de lluvia o riego; lo que acarrea pérdidas importantes de eficiencia y subestimación en la determinación de sus requerimientos (CHAVES 2010). La asimilación de una cantidad excesiva de N puede resultar en una deficiente maduración de la caña. El estrés provocado por patógenos, plagas, déficit hídrico, exceso de humedad o de N pueden promover, favorecer e incrementar sus pérdidas.

## **Objetivo**

Comentar en torno a algunas de las experiencias de investigación obtenidas por la agroindustria azucarera costarricense con el uso del Nitrógeno aplicado al suelo.

## **Caracterización de la agroindustria**

La agroindustria azucarera costarricense está dispersa en seis regiones agroecológica y productivamente muy diferentes y bien tipificadas, cuya área sembrada es de 64.676 hectáreas, con un piso altitudinal de 0-1.550 msnm donde cerca del 8% se cultiva arriba de 1.000 msnm y el 70% por debajo de los 400 msnm (CHAVES y CHAVARRÍA 2013). Existen 13 ingenios azucareros activos y registrados 7.552 productores independientes de caña, distribuidos en seis (86%) de las siete provincias y 29 cantones (36%) de los 81 existentes en el país, quienes aportan la materia prima para fabricar el 37,5% del azúcar nacional; el resto proviene de caña propia de

los ingenios. La pequeña unidad productiva es socialmente muy importante pues el 91,4% de los productores independientes entrega menos de 500 toneladas de caña. Más del 75% se cosecha mecánicamente con edades entre 12-13 meses y un segmento de caña de altura (+1.000 msnm) con edades entre 18-24 meses. La agroindustria proceso en la zafra 2014-2015 un total de 4.422.451 toneladas de caña con la cual fabricó 465.702 toneladas de azúcar 96° para una concentración promedio nacional de sacarosa de 105,30 kg/t y un rendimiento de 75 t de caña y 7,9 t de azúcar por hectárea. Aproximadamente el 60% del azúcar se consume en el país y el resto se exporta (CHAVES *et al.* 2015).

La organización es madura y está muy bien estructurada, disponiendo de seis Cámaras de Productores de Caña en cada región productora reunidas en una Federación. El sector industrial se integra en una Cámara de Azucareros. Ambos sectores se reúnen y convergen en la Liga Agrícola Industrial de la Caña de Azúcar (LAICA), corporación de derecho público no estatal que representa y lidera las actividades sectoriales de la agroindustria. Un 62,5% del beneficio final le corresponde al productor y el 37,5% al industrial. La caña se paga con base en su calidad (CHAVES y BERMÚDEZ 2015).

### **Condición de los suelos**

Taxonómicamente los suelos dominantes pertenecen según importancia a los órdenes: Inceptisol, Ultisol, Andisol, Vertisol, Mollisol, Alfisol y Entisol, entre otros, lo que denota una condición de fertilidad, potencial productivo y manejo implicado muy variable (CHAVES 1999a). El relieve de los mismos es variable con pendientes extremas que van de 0 a 30% pero mayoritariamente inferiores al 10%, lo que incorpora un área no despreciable de agricultura de topografía quebrada de difícil manejo, baja mecanización y eficiencia. La fertilidad actual de los suelos cañeros costarricenses es variable y puede segregarse genéricamente en dos sectores claramente diferentes: a) Zona baja de Guanacaste y Puntarenas y b) resto de regiones.

La primera zona es seca con régimen Ústico (<1.600 mm), altas temperaturas (>26°C), baja humedad, mucho viento en verano, topografía plana, mecanizable, requiere riego, suelos Eutróficos, altas concentraciones de bases cambiables y fertilidad mediana-alta con alguna limitación relativa en K, S, Zn, B, Fe, Mn y algunos problemas de texturas finas, pertenecientes

principalmente a suelos de los órdenes Inceptisol, Vertisol, Alfisol, Mollisol y Entisol. La segunda zona posee regímenes de alta precipitación (>1.700 mm), temperaturas medias <24°C, relieve plano-quebrado, alta humedad, riego parcial, mecanización limitada, suelos Dystróficos, fertilidad media-baja, texturas francas, buena parte con serios problemas por alta acidez que obliga a su corrección, bajas concentraciones de Ca, Mg, K, P, Zn, asociados a los órdenes Inceptisol, Ultisol y Andisol. Los contenidos de Materia Orgánica son en ambas zonas menores del 8%. Los suelos cultivados con caña muestran en su gran mayoría limitantes particulares de N-P-K-S-Zn y circunstancialmente de Ca y Mg, pues sus concentraciones y contenidos son bajos o su disponibilidad para la planta es limitada y restringida. Las generalizaciones no caben por lo que cada región, zona y localidad mantiene profundas diferencias (CHAVES 1986, 1989, 1996, 1997b, 1999ab, 2003, 2012b; CHAVES y ALVARADO 1994; CHAVES y BARRANTES 2007; CHAVES et al. 1999).

### **Variedades de caña sembradas en Costa Rica**

La variabilidad y heterogeneidad edafoclimática y de manejo agronómico expuesta induce y obliga, a diferencia de otras agroindustrias de la región, disponer y mantener una alta diversidad y versatilidad genética que permita atender y resolver esas discrepancias. Como se anotó, la caña se cultiva en un ámbito de 0 a 1.550 msnm lo que provoca ciclos vegetativos de 12 a 24 meses con dominio de 12-13 meses. El Censo Cañero realizado en el año 2013 (CHAVES 2015a) identificó un total de 117 clones diferentes de caña sembrados, de los cuales 23 clones estaban cultivados en un área mayor al 1% del área cañera nacional; siendo sin embargo la base nacional constituida por 15 variedades que representaron el 77,7% del total. Los orígenes dominantes según sigla descriptiva fueron: B (3), SP (3), CP (2), NA (2), RB (1), PR (1), H (1), Q (1) y Mex (1). Los 15 clones más sembrados fueron: CP 72-2086 (12,6%), NA 56-42 (12,0%), B 82-333 (10,0%), CP 72-1210 (8,2%), Mex 79-431 (6,5%), SP 81-3250 (4,3%), Q 96 (4,1%), NA 85-1602 (3,4%), RB 86-7515 (3,4%), B 80-689 (3,1%), B 76-259 (2,2%), H 77-4643 (2,2%), SP 81-2068 (1,9%), PR 80-2038 (1,9%) y SP 70-1284 (1,9%). Como se infiere, el potencial productivo, la capacidad de adaptación y el manejo de cada clon son particularmente diferentes, lo que se manifiesta y expresa en sus requerimientos nutricionales. La distribución de materiales genéticos para siembra se estima satisfactoria pues individualmente ninguno supera el 13%.

## Fertilización del cultivo

La fertilización es en asocio con otras prácticas de manejo del cultivo como son la renovación de plantaciones agotadas, la corrección oportuna de suelos ácidos o alcalinos, el control eficiente de malezas, el empleo de semilla de alta calidad y pureza genética y la preparación correcta de suelos para siembra, labores que ante una crisis financiera o problema provocado por bajos precios y/o altos costos son por lo general impactadas por omisión y/o reducción en procura de elevar la utilidad por menos gasto (CHAVES 2008, 2015b). En el caso de la nutrición esta acción se traduce en el uso de fórmulas, dosis y momentos inadecuados o inconvenientes de aplicación de fertilizantes y enmiendas. La planta de caña virtud de su rusticidad lo permite y hasta acepta, pero el impacto no se deja esperar, expresado en una reducción sistemática y acelerada de productividad agroindustrial que dependiendo del entorno productivo varía en intensidad. Por esta razón, es notoria y evidente la diferencia existente en los programas de fertilización aplicados por la mayoría de ingenios azucareros, no todos, y grandes empresas cañeras respecto a la colectividad de productores independientes (CHAVES 1996, 2012b).

En torno a este tema CHAVES (2003) expresó *“Como factor de la producción la fertilización es determinante, rentable y su beneficio incuestionable, aunque paradójicamente ha sido junto con el control de malas hierbas, la renovación de plantaciones y el uso de semilla de alta calidad, los componentes agrícolas más sacrificados por el agricultor ante la crisis de precios bajos y baja rentabilidad de la actividad agrícola”*. Agrega el mismo autor (CHAVES 2012b) en torno al tema ratificando la importancia de la fertilización que *“La fertilización del cultivo de la caña de azúcar es una práctica importante no apenas desde la perspectiva tecnológica y productiva, sino también económica, pues representa como promedio a nivel nacional un 23,2% de los costos de producción agrícola (encalado + fertilización) en el ciclo planta; y un 19,5% de los costos del ciclo soca, lo que no es en términos financieros nada despreciable.”*

La nutrición de la caña en el país es muy sensible al estado financiero del productor y la relación de precios pagados y costos vinculados, lo que la hace variable e inestable como ha podido verificarse en el campo; esto tiene obviamente incidencia e implicaciones productivas. Resulta sin embargo común encontrar que ante dificultades financieras el N es el nutrimento menos sacrificado; no así el P, Ca, Mg, K, S y los micronutrientes, lo cual se da por tradición y costo

de las fórmulas fertilizantes. Por lo general, salvo en muy pocas excepciones, la fertilización en Costa Rica se limita a la adición de N-P-K, incorporando el P durante la siembra y en bajas dosis en ciclos de retoño. El K es de uso mayoritario con algunas excepciones en la región de Guanacaste y Puntarenas donde está restringido a dosis menores, que algunas veces resultan inconvenientes por razones de necesidad, proporcionalidad y funcionalidad como lo señalara CHAVES (2012a).

Pese a la excepcional y reconocida capacidad de extracción y remoción de nutrimentos del suelo, como lo demostrara CHAVES (1986, 1999a), no debe ni puede menospreciarse la necesidad de fertilizar las plantaciones de caña bajo el concepto de nutrición integral y no apenas parcial. Todos los nutrimentos son vitales y necesarios, por lo que cualquier decisión en contra va en detrimento directo y afectación de las altas productividades agroindustriales sostenibles en el tiempo.

En general las plantaciones comerciales de caña de azúcar en Costa Rica presentan una necesidad manifiesta por la adición de nutrimentos esenciales para sostener un nivel de productividad agroindustrial elevado y una vida útil prolongada y rentable, como lo asegurara CHAVES (2012b).

Las cantidades de N-P-K aplicadas en el país por lo general muestran limitantes en cuanto al P y el K adicionados, pues las dosis reportadas en el estudio realizado por CHAVES (2012b) fueron calificadas como bajas. Esta situación además de generar insuficiencia nutricional manifiesta, con el paso del tiempo podría decantar en deficiencias y desequilibrios nutricionales que atenten contra la producción y la prolongación de la vida comercial de las plantaciones comerciales. En las Zonas Altas podrían estarse adicionando innecesariamente dosis altas de K y eventualmente N, lo cual debe revisarse.

### **Contenidos en la planta**

Para interpretar la condición nutricional del cultivo se recomienda incondicionalmente el análisis físico-químico del suelo y foliar de la planta, por ser la sección más sensible en evidenciar los cambios nutricionales; en este caso se recomienda utilizar el tercio medio de la Hoja +1 conocida como TVD (Top Visible Dewlap) eliminando la nervadura central. En Costa

Rica no se dispone de patrones referenciales de contenidos por lo que deben emplearse criterios internacionales (CHAVES 1999ab). Las concentraciones de N-K en la sección del internudo 8-10 se utilizaron en Costa Rica como criterio para determinar el grado de madurez de la caña (CHAVES y SALAZAR 1989).

### **Uso del Nitrógeno**

El N es determinante en la nutrición y el metabolismo de la caña de azúcar virtud de ser constituyente de las proteínas y los ácidos nucleicos; es junto con el K y el Silicio (Si) los más absorbidos por la planta. Su contenido y respuesta a su adición varían con la variedad sembrada, la edad del tejido, la disponibilidad y suficiencia del N y otros nutrimentos presentes en la solución del suelo; como también la condición de los factores edafoclimáticos del entorno productivo. Se considera que la caña extrae, absorbe y utiliza en promedio 0,93 kg de N por cada tonelada de tallos producida y cosechada; pese a lo cual el nutrimento muestra una elevada variabilidad (1,80 kg) ubicada en el ámbito de 0,44-2,24 kg/t, como lo reportara CHAVES (1999a). De acuerdo con ese autor el patrón dominante de absorción responde al siguiente modelo de extracción:  $K > N = Si > Ca > S > P > Mg$ . La absorción y el metabolismo del N en la planta son determinados por la disponibilidad de los otros nutrimentos, en especial del P. El N habilita y dinamiza la absorción de K y se ve favorecido por el S. De acuerdo con CHAVES (2003) *“La respuesta de la caña de azúcar a la adición de N es consistentemente alta tanto en ciclo planta como retoño, y mayor en zonas altas con ciclo vegetativo prolongado (18-24 meses) y siembra de variedades Hawaianas”*.

### **Variedades**

La experiencia costarricense ha demostrado que en la variedad es donde reside el mayor factor de diferenciación en la respuesta a la aplicación de fertilizantes; aún más que la provocada por otros factores vinculados a fuentes, dosis, interacciones o épocas de aplicación, lo cual denota la relevancia del componente genético en esta materia. El N no es excepción pues la investigación ratifica ese comportamiento, como aconteció en un suelo Ultisol (*Ustoxic palehumult*) de San Isidro de El General (700 msnm) al adicionar en ciclo planta seis dosis de N (0, 50, 100, 150, 200 y 250 kg/ha) a tres variedades comerciales: B 47-44, SP 71-5574 y PINDAR. Los clones mostraron diferencia estadística significativa (1%) en todas las variables

agroindustriales evaluadas; la interacción dosis x clon fue significativa (10%) para el rendimiento industrial (kg sacarosa/t). La producción de caña y azúcar (t/ha) fue diferente (1%) para las dosis y los clones, no así su interacción. La variedad SP 71-5574 fue superior en características agronómicas, calidad industrial, producción de caña y azúcar; siendo 150 kg de N/ha la mejor dosis encontrada (QUIRÓS y CHAVES 1993).

El estudio de varias dosis de N aplicadas en un Ultisol de Cutris de San Carlos (65 msnm), encontró que los clones LAICA 85-653 y PINDAR respondieron positivamente a la adición de 100 kg de N/ha, no así Q 96 que por el contrario redujo su producción de azúcar (CHAVES 1997b).

En un Inceptisol de Cañas (9 msnm), Guanacaste, al estudiar la respuesta de tres variedades: Ja 60-5, SP 70-1143 y Q 102 respecto a la adición de cinco dosis de N: 0, 50, 100, 150 y 200 kg/ha, se encontró luego de cuatro cosechas que hubo diferencias estadísticas (1%) entre clones y cosechas; no así entre clones x dosis. La Ja 60-5 produjo más caña y azúcar y la SP 70-1143 concentró más sacarosa. Individualmente las mejores dosis fueron para cada clon 100, 100 y 200 kg de N/ha, respectivamente (ANGULO *et al.* 1996). En la misma localidad y orden de suelo se evaluó el efecto de tres dosis: 60, 120 y 180 kg de N/ha sobre tres variedades comerciales: CP 72-2086, B 80-689 y SP 79-2233. Luego de tres cosechas se concluyó que la concentración de sacarosa es particular de cada variedad, siendo CP 72-2086 el mejor clon en resultado agroindustrial seguido de cerca por la B 80-689, no alcanzando diferencias estadísticas entre ellas, lo que si aconteció para la SP 79-2233 en cuanto a concentración de sacarosa y producción de azúcar no así de caña. Las dosis de N no marcaron diferencias importantes sino bajas, mostrando la de 120 kg los mejores índices de concentración y producción de azúcar; mientras que 180 kg produjo más tonelaje de caña por hectárea (ANGULO *et al.* 2006a).

En torno al factor genético CHAVES (2003) concluyó que *“La variedad cultivada constituye y representa uno de los factores inductores de variación más importantes y determinantes en la investigación de la nutrición y la fertilización de la caña de azúcar, razón por la cual, debe ser muy tomado en cuenta al inferir conclusiones, generalizar resultados y emitir recomendaciones comerciales”*.

## Fuentes

Este es uno de los factores más estudiados por razones técnico-económicas de disponibilidad, costos y efectos inducidos y esperados. Una prueba de campo realizada en un Inceptisol de Cañas (9 msnm), Guanacaste, mostró luego de cuatro cosechas del clon Q 96 al evaluar Urea (46%), Sulfato de Amonio (21%) y Nitrato de Amonio (33,5%) en una dosis de 150 kg de N/ha, que esta última fuente nitrogenada seguida por la Urea y el Sulfato resultó mejor sin alcanzar significancia estadística, tanto al aplicarla superficialmente como en forma incorporada (ANGULO *et al.* 1996b). Otro estudio con seis fuentes de N: Urea (46%), Sulfato de Amonio (21%), Nitramón (20%), Nutrasul (27%), Nitrato de Calcio (15,5%) y Nitrato de Amonio (33,5%), aplicadas en la SP 71-5574 a una dosis de 150 kg de N/ha en un Ultisol de San Isidro de El General (560 msnm), demostró que el resultado está fuertemente ligado a la fuente de N empleada y consecuentemente al elemento complementario incorporado. La producción de caña y azúcar (t/ha) resultaron estadísticamente significativas (5%), siendo el Sulfato la mejor en ambas variables, seguido por Nutrasul, Nitrato de Calcio y de Amonio, Nitramón y Urea, lo que ratifica la buena respuesta de la caña al S (BARRANTES y CHAVES 2003).

Al evaluar siete fuentes en un Ultisol de Florencia, Turrialba (788 msnm), se encontró en dos cosechas de la variedad B 77-95 (CALDERÓN y CHAVES 2006a), que la producción de azúcar (t/ha) fue superior sin efecto estadístico significativo en el siguiente orden: Urea+S (40%N y 5,6% S), Nitrato de Potasio (13,5%), Magnesamón (22%), Nitrato de Amonio (33,5%), Nitrato de Calcio (15,5%), Sulfato de Amonio (21%) y Urea Granular (46%). Se ratifica nuevamente la influencia positiva del ión acompañante sobre los rendimientos agroindustriales, en particular el S, Mg y K. De manera similar pero en una zona alta de Juan Viñas (1.165 msnm), de suelos Andisoles con ciclos de cosecha de 24 meses empleando la variedad hawaiana H 60-852, se encontró luego de tres cosechas el siguiente resultado promedio en cuanto a producción de azúcar (t/ha): Urea, Sulfato de Amonio, Magnesamón, Nitrato de Calcio, Nitrato de Amonio, Urea+S y Urea+B (CHAVES 1997b).

En varias pruebas realizadas en seis localidades cañeras (CHAVES 2016) donde se investigó el efecto de nueve fuentes de N: las tradicionales Nitrato de Amonio (33,5%), Urea (46%), Sulfato de Amonio (21%), Urea+S (40%) y novedosas Nitroxtend (46%), Perlka (19,8%), Last N (43%),

N-Force (30%) y Agrocote (37%), algunas de ellas modernas por su modo de acción basado en liberación retardada, liberación controlada por recubrimiento con S e inhibición de la enzima ureasa que motivó aplicaciones reducidas, entre -15% y -40% de la base general de 140 kg de N/ha adicionada. Actualmente se busca incorporar fuentes nitrogenadas comerciales que reduzcan el impacto ambiental sea por la lixiviación de los Nitratos o la volatilización y afectación atmosférica por la liberación de Amoniac y Óxido Nitroso (N<sub>2</sub>O). Se encontraron resultados muy variables como muestra el Cuadro 1, donde la Urea+S, el Nitro Xtend y el Nitrato de Amonio lograron resultados muy satisfactorios en la mayoría de regiones. Solo en Liberia, Guanacaste y Pérez Zeledón hubo diferencias estadísticas significativas (5%), pese a lo cual la mayoría superó al tratamiento testigo sin N.

De igual manera buscando respuestas prácticas a lo disponible en el mercado de los fertilizantes, se ha valorado la aplicación de fórmulas comerciales de nutrimentos básicos en dosis variables con aplicación adicional de elementos importantes, como lo reportan los estudios realizados por CHAVES y CORRALES (1984) y VEGA *et al.* (1986). En el primer caso en un Inceptisol (Typic Dystrandept) de la zona alta de Valverde Vega (1.250 msnm), se determinó en un segundo corte de la variedad H 37-1933 cosechada a 13 meses de edad, que la aplicación de 17 sacos de la fórmula 17-11-22 y 11 sacos de 15-15-15, ambas sin el complemento de Mg (1,4 sacos de MgSO<sub>4</sub>), resultaron más rentables respecto a la 23-5-25. Dichas aplicaciones incorporaron 144,5-93,5-187 kg de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y K<sub>2</sub>O/ha en el primer caso y 82,5 kg de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y K<sub>2</sub>O/ha en el segundo, lo que demuestra la importancia de la relación N-K. No hubo diferencias entre fórmulas pero si (5%) entre dosis (11, 14 y 17 sacos de 50 kg). En el mismo lugar se estudió en el tercer corte de la variedad H 37-1933 cosechada a 12 meses la eficiencia productiva de las fórmulas fertilizantes comerciales: 15-15-15, 17-11-22 y 18-5-15-6-2 en tres dosis (11, 14 y 17 sacos de 50 kg/ha) complementados o no con 4 sacos adicionales de Nitrato de Amonio/ha (67 kg de N/ha). El resultado final indica que 15-15-15 a 17 sacos sin N extra fue superior en producción de caña y azúcar (t/ha) incorporando 127,5 kg de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y K<sub>2</sub>O/ha, respectivamente; sin embargo, en rentabilidad la mejor fue la fórmula 18-5-15-6-2 a 11 sacos con adicional de N, con lo cual se aplicó 166, 27,5 y 82,5 kg de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y K<sub>2</sub>O/ha y 33 kg de MgO y 11 kg de B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/ha, respectivamente, evidenciando el beneficio de la nutrición integral.

**Cuadro 1.**

**Producción de azúcar promedio (t/ha) obtenidas en pruebas regionales con fuentes de N.**

Fuente N / Indicador	Localidad						
	Cañas	Liberia	Grecia	San Carlos	Pérez Zeledón	Turrialba	Media
Altitud (msnm)	12	80	875	91	560	740	
Orden Suelo	Inceptisol	Inceptisol	Andisol	Ultisol	Ultisol	Ultisol	
Variedad	NA 85-1602	CP 72-2086	RB 86-7515	LAICA 01-604	LAICA 04-825	B 77-95	
N° Cosechas	4	2	1	4	3	3	
Nitrato Amonio	13,81	17,28ab	14,39	11,54	13,02a	20,23	15,04
Urea	12,38	15,54ab	14,80	11,91	12,17ab	19,86	14,44
Sulfato Amonio	13,99	16,87ab	15,46	12,43	12,22ab	18,32	14,88
Nitro Xtend	14,19	17,45a	15,34	11,81	12,00ab	19,79	15,10
Urea+S	13,73	17,25ab	15,87	11,57	12,85ab	19,82	15,18
Perlka	13,48	16,80ab	14,73	12,67	11,47b	19,15	14,72
Agrocote	12,77	17,27ab	15,16	11,64	13,01a	18,53	14,73
N-Force	13,17	16,43ab	15,29	12,20	13,06a	19,51	14,94
Last-N	13,03	16,56ab	13,91	11,63	11,64b	18,60	14,23
Testigo -N	10,47	14,98b	15,09	11,87	12,13ab	15,87	13,40
<b>Promedio</b>	<b>13,10</b>	<b>16,62</b>	<b>15,0</b>	<b>11,93</b>	<b>12,36</b>	<b>18,97</b>	<b>14,67</b>
<b>CV (%)</b>	<b>9,77</b>	<b>6,01</b>	<b>9,02</b>	<b>4,11</b>	<b>3,45</b>	<b>10,52</b>	

Fuente: CHAVES (2016)

Estudios recientes han demostrado en relación a la práctica agrícola de la fertilización como acto final del concepto nutricional, un uso excesivo de fórmulas comerciales disponibles y accesibles en el mercado nacional, lo cual fue ratificado por CHAVES (2012b) al señalar que *“Se encontró e identificó una gran cantidad (42) y diversidad de fórmulas disponibles en el comercio y empleadas por el sector cañero para fertilizar las plantaciones, lo cual se considera y califica como excesiva. Muchas de ellas son formuladas “a la carta” para satisfacer*

*necesidades muy particulares de las empresas interesadas; otras son muy regionales y por tanto de alcance limitado y restringido.*”. El tema es realmente preocupante y va directamente ligado al empleo del N como nutrimento principal, donde la cantidad de fórmulas comerciales existente en el país es calificada como excesiva.

### **Dosis**

Al igual que en el caso anterior este tema resulta muy variable virtud de las grandes diferencias existentes en todos los órdenes, lo que introduce variación que induce y provoca la obligada implementación de programas de fertilización diferenciados.

Los estudios realizados para identificar y definir dosis óptimas de N son numerosos como lo demuestran los resultados obtenidos (CHAVES *et al.* 1989) en un Inceptisol de altura de Juan Viñas (1.050 msnm), donde la variedad H 44-3098 alcanzó luego de dos cosechas a 24 meses su mayor productividad promedio de caña y azúcar (t/ha) sin efecto estadístico. Esto se logró con la adición de 200 kg de N/ha al ser valorada respecto a la aplicación de varias cantidades (0, 100, 200, 300, 400 y 500 kg de N/ha). En un Ultisol (*Ustoxic palehumult*) de la Zona Sur (700 msnm) se encontró al evaluar seis dosis de N: 0, 50, 100, 150, 200 y 250 kg/ha adicionadas a tres variedades comerciales, respuestas diferenciadas por clon de 150 kg (PINDAR) y 200 kg/ha (SP 71-5574 y B 47-44) respecto a la mayor producción de caña y azúcar (QUIRÓS y CHAVES 1993; CHAVES y BARRANTES 2007).

En un Inceptisol de la zona de Esparza, Puntarenas, CHAVARRÍA *et al.* (1999) ubicaron luego de aplicar seis dosis de N (0, 50, 100, 150, 200 y 250 kg) y realizar tres cosechas del clon SP 70-1284, que la adición de 100 kg fue superior en concentración de sacarosa (kg/t), producción de caña y azúcar (t/ha), mostrando sin embargo importantes variaciones entre cosechas. En un Inceptisol de Cañas, Guanacaste (12 msnm) la dosis de 180 kg de N/ha resultó ser la mejor en todos los indicadores de productividad agroindustrial luego de tres cosechas de la variedad SP 81-3250 (Angulo *et al.* 2006b).

En términos generales la experiencia comercial y la investigación han generado respuestas al N que se ubican según región, como lo muestra el Cuadro 2; las que poco se han modificado con

el pasar de los años (CHAVES 1983, 1986, 1996, 1997, 1999ab, 2003,2010, 2012b, 2016; CHAVES y ALVARADO 1994; CHAVES *et al.* 1999; CHAVES y BARRANTES 2007).

**Cuadro 2.**

**Ámbito de respuesta de la caña de azúcar a la aplicación de N al suelo, según región productora en Costa Rica.**

Región productora	Ordenes taxonómicos dominantes	Cantidad (kg de N/ha)	
		Planta	Reño
Guanacaste y Puntarenas <sup>1</sup>	Inceptisol - Vertisol Mollisol - Alfisol Entisol	80 – 150	100 – 150
Valle Central	Inceptisol – Andisol Alfisol - Ultisol	120 – 180	130 – 180
Turrialba	Ultisol - Inceptisol Andisol	120 – 180	130 – 180
Zona Norte	Inceptisol - Ultisol	110 – 150	120 – 150
Zona Sur	Ultisol - Inceptisol	120 – 150	120 – 150
Regiones Altas (> 1.000 msnm)	Inceptisol – Andisol	140 – 300*	140 – 300*
Amplitud		80 - 300	100 - 300

<sup>1/</sup> Suelos del orden Mollisol y algunos Vertisoles es recomendable la aplicación de 100-150 kg/ha.

\* Dosis justadas a experiencias recientes

Asegura CHAVES (2012b) que “Las superficies de respuesta a la adición de nutrimentos esenciales generadas a partir de la investigación y antecedentes de campo, están bastante ajustadas a la realidad, como se demostró en el presente estudio, lo que sirve como un importante referente orientador de la respuesta potencial que puede obtenerse al aplicar fertilizantes; las mismas deben sin embargo revisarse y actualizarse.”

### **Forma y momento de aplicación**

En general se ha determinado una respuesta positiva aunque menor del N en la caña planta respecto al reño, que no es norma; comportamiento que se atribuye entre otras razones a la mayor mineralización de la materia orgánica en el suelo. Tanto la forma como el momento de

aplicación resultan importantes y hasta determinantes para maximizar el efecto nutritivo de la fertilización, virtud de la función y modo de acción particular del N; motivo por el cual se deben tomar medidas que eviten pérdidas innecesarias y costosas. Las altas precipitaciones, baja acidez, alta temperatura, condiciones de inundación y alta pendiente de algunas localidades cañeras son condiciones propicias y favorables para provocar la pérdida de N (CHAVES 2010). Por razones atribuidas al manejo de plantaciones, las pérdidas de N-Urea en el sistema suelo-planta de la caña de retoño son por lo general superiores a las del ciclo planta; sobre todo cuando el fertilizante se coloca superficialmente.

La aplicación superficial de la Urea puede provocar pérdidas importantes de hasta un 40% por volatilización del Amonio, como lo comprobaran Oliveira *et al.* (1999), motivo por el cual se recomienda su incorporación y enterramiento a una profundidad de 7 cm. Caso exista limitación para incorporarla se recomienda su aplicación complementada con riego, o en su caso, previo a acontecer una posible lluvia; de existir limitante es mejor cambiar de fuente nitrogenada.

Un estudio realizado por ANGULO *et al.* (1996b) en Cañas, Guanacaste (9 msnm) donde se evaluaron con la variedad Q 96 tres fuentes nitrogenadas (Urea, Nitrato de Amonio y Sulfato de Amonio) adicionadas en una dosis de 150 kg de N/ha y aplicadas en dos formas de colocación: superficial e incorporado (5 cm) mediante desaporca y aporca. Hubo en promedio luego de cuatro cosechas significancia estadística (1%) para la producción de caña y azúcar (t/ha) que se incrementaron con el uso del N; no mostrando sin embargo las fuentes ni la interacción modalidad x fuente diferencia probabilística. La Urea obtuvo mayor rendimiento en concentración de sacarosa (kg/t) y azúcar (t/ha) cuando se incorporó al suelo; no así en tonelaje de caña que fue mayor al aplicarse superficialmente. En promedio la incorporación del N resultó superior, siendo el Nitrato la mejor fuente en ambas modalidades, seguida por la Urea y el Sulfato. La aplicación superficial resultó más económica.

### **Interacciones**

El N por su función, funcionabilidad y modo de acción en el suelo, la atmósfera y la planta, interacciona con múltiples factores que potencian, dinamizan sinérgicamente o limitan de manera antagónica su acción metabólica, con los consecuentes efectos sobre la productividad agroindustrial, lo que obliga a valorar su actividad conjunta. En un Ultisol de Turrialba (889

msnm), al estudiar la interacción N-K empleando Nitrato de Amonio en tres dosis (60, 120, 180 kg de N-K<sub>2</sub>O/ha) reveló en tres cosechas del clon H 50-7209, que la interacción de 180 kg de N, 240 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y 180 kg de K<sub>2</sub>O, fue superior en todas las variables de rendimiento agroindustrial (CHAVES y ARREA 1986).

Valorando la misma interacción en un Inceptisol de la zona alta de Juan Viñas (1.050 msnm) en dos cosechas de la variedad H 44-3098, donde se aplicaron cuatro dosis de N y K<sub>2</sub>O (0, 100, 200 y 300 kg/ha), se encontró que la relación 300-200-200 kg de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y K<sub>2</sub>O/ha era la mejor en productividad promedio de caña y azúcar (t/ha) y la de 100-200-100 de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y K<sub>2</sub>O/ha en concentración de sacarosa (kg/t) en los tallos. El tratamiento más rentable fue 200-200-100 de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y K<sub>2</sub>O/ha. En un Inceptisol de la localidad de Puente de Piedra, Grecia (875 msnm), se investigaron 13 tratamientos de N-P-K en interacción en dosis de 0, 125 y 250 kg de N y K<sub>2</sub>O/ha y 0 y 200 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha. El resultado del segundo corte indica que el mejor tratamiento fue 250-200-250 kg de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y K<sub>2</sub>O/ha (ARIAS 1984). En un Inceptisol de la zona alta de San Carlos se evaluó la interacción N-P-K en dosis variables de N (0, 50, 100, 150 y 200 kg), P (0 a 400 kg) y K (0, 75, 150, 225, 300 kg) adicionadas durante la siembra o el primer retoño. Se encontró que en caña planta aplicaciones de 150, 400 y 150 kg de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y K<sub>2</sub>O/ha generaron las mayores producciones de azúcar (t/ha); en el ciclo soca la mayor productividad se logró con 200, 0, 300 kg de los mismos nutrimentos ROBLES (1984).

Prueba similar también realizada en un Inceptisol pero en la zona baja de Cañas, Guanacaste (12 msnm) donde se interaccionaron cuatro dosis de N (0, 60, 120 y 180 kg) y K (0, 50, 100 y 150 kg de K<sub>2</sub>O), se encontró con significancia estadística luego de tres cosechas de la variedad SP 81-3250, que la interacción 180-100 kg de N-K<sub>2</sub>O/ha con un complemento de 80 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha resultó mejor para aplicaciones comerciales en la zona (ANGULO *et al.* 2006).

### **Fraccionamiento**

La aplicación unificada o en su caso fraccionada representa en Costa Rica un asunto de especial interés por las disimiles condiciones del entorno productivo como ya se comentó, en particular por los altos niveles de precipitación prevalecientes en algunas regiones que pueden eventualmente generar pérdidas por lixiviación de fuentes solubles como los Nitratos,

principalmente, desnitrificación por encharcamiento o arrastre por escorrentía del fertilizante. La práctica de fraccionar las aplicaciones comerciales de N-K es común, exceptuando en la región de Guanacaste y Puntarenas donde es más limitada.

En un Inceptisol de Cañas, Guanacaste (9 msnm) se aplicó de manera fraccionada el N-P-K con una base de 150 kg como Nitrato de Amonio, 120 y 100 kg de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y K<sub>2</sub>O/ha durante la siembra y a los 45 y 80 días de edad de la plantación en ciclo planta, sembrada con el clon Q 96. En soca el fertilizante se fraccionó a los 30 y 60 días posteriores realizada la cosecha, exceptuando un tratamiento donde el fraccionamiento incluyó la siembra (1/3). Hubo diferencias estadísticas, encontrando que el fraccionamiento no afectó la concentración de sacarosa en los tallos. La adición de todo el N-P-K al fondo del surco o luego de la cosecha resultó ser en promedio de cuatro cortes el tratamiento más productivo de caña y azúcar (t/ha), como lo indicaran ANGULO *et al.* (1996).

En un Inceptisol de topografía plana de Esparza, Puntarenas (210 msnm) sembrado con la variedad SP 79-2233, se evaluó la aplicación fraccionada de N-P-K en dosis de 100, 130 y 130 kg de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y K<sub>2</sub>O/ha, respectivamente, en tres momentos diferentes: siembra, 30 y 60 días posteriores a la siembra o cosecha de la plantación. No se encontró como promedio de dos cortes diferencias estadísticas, logrando la mayor producción de caña y azúcar (t/ha) y rentabilidad cuando la adición del fertilizante se fraccionó en tres aplicaciones (1/3) superando la aplicación en una sola dosis. Los resultados muestran diferencias pequeñas aunque dignas de considerar en el manejo de plantaciones comerciales (VILLALOBOS y CHAVES 2006). En un Ultisol de Atirro, Turrialba (600 msnm) empleando la variedad B 77-95 se comparó en ciclo planta ocho tratamientos con fraccionamiento del N-P-K aplicados a la siembra, 60 y 120 días después de sembrar con una base de 150, 120 y 150 kg de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y K<sub>2</sub>O/ha, respectivamente. El resultado indica que el fraccionamiento no contribuyó con un mayor y mejor rendimiento productivo y económico, lo cual se logró cuando todo el P se aplicó a la siembra y todo el N-K se adicionó a los 120 días después de la siembra. Le siguió en importancia la adición parcial en partes iguales (1/2) del N-K a los 60 y 120 días (CALDERÓN y CHAVES 2006).

La región cañera de San Carlos por su influencia atlántica posee altos niveles de precipitación que se encuentran entre 2.600 y más de 3.000 mm anuales, lo que motivó a SALAZAR y

RODRIGUEZ (2000) por razones obvias a estudiar en un Inceptisol de la localidad de Cutris (65 msnm) el fraccionamiento del fertilizante N-K. Se sembró la variedad PINDAR y fertilizó con una base de 150, 200 y 150 kg de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y K<sub>2</sub>O/ha, respectivamente, aplicados como sigue: 1) fraccionamiento en partes iguales a la siembra o inmediatamente luego de la cosecha y posteriormente a los 90 días de edad, 2) fraccionamiento igual al anterior a los 45 y 90 días, 3) fraccionamiento a los 30, 60 y 90 días y 4) sin fraccionar con una sola aplicación a los 90 días como testigo. La calidad de los jugos no se afectó por el fraccionar la fertilización. No hubo diferencias estadísticas aunque el fraccionar en tres partes (1/3) generó un ligero aumento en las toneladas de caña y de azúcar. Concluyen de su estudio los autores que *“De cualquier forma el fraccionar la fertilización en esa zona, constituye un acto que racionaliza las pérdidas y la disponibilidad de los nutrimentos para la planta”*.

### **Fertilización orgánica**

El empleo de materiales de origen y naturaleza orgánica con fines nutricionales como es el caso de la cachaza residual del proceso fabril es común en Costa Rica, la cual se aplica fresca preferentemente durante la siembra como también en ciclos vegetativos posteriores. Sobre el tema se ha investigado bastante como lo demuestran los estudios de CHAVES y GUZMÁN (1993ab), ANGULO y CHAVES (1999ab), CHAVES *et al.* (1996, 1999, 1999b), CHAVES (2005) y BERROCAL (1988) con el empleo de bagazo procurando mejorar la estructura física de suelos Vertisoles. No hay duda en la importancia y necesidad de incrementar los contenidos de Materia Orgánica en los suelos cañeros como práctica de acondicionamiento nutricional (CHAVES 1999ab, 2012a). Cualquier mejora que mejore el Ciclo de Carbono en el suelo viene a incrementar el potencial productivo del suelo y el cultivo.

### **Conclusiones y recomendaciones**

- 1) Existe en Costa Rica una significativa heterogeneidad de condiciones edáficas, climáticas, variedades sembradas y manejo agronómico de plantaciones, que induce variabilidad en los requerimientos nutricionales y criterios empleados en el uso comercial del N. No caben ni aceptan en este caso las generalizaciones.
- 2) Los nuevos y exigentes elementos regulatorios de carácter ambiental vigente, aunado a la imperiosa necesidad de reducir los costos de producción para incrementar la

rentabilidad y la competitividad, determinan y obligan a un imperativo uso óptimo y racional del nutrimento.

- 3) Por su función y funcionabilidad en el suelo, la planta y la atmósfera, el N es muy especial, lo que exige conocer, respetar y aplicar los principios que lo regulan y determinan en su acción física química, microbiológica y metabólica.
- 4) Factores vinculados a fuentes, dosis, interacciones, formas y momentos de aplicación deben ser valorados, conceptualizados y aplicados de manera muy específica a las condiciones y características del entorno productivo. La agricultura de sitio y precisión cobran en este particular mucha relevancia y actualidad.
- 5) La eficiencia en el uso del N y su efectividad dependen en alto grado del cultivo y del manejo integral que se dé a la fertilización.
- 6) La variedad marca diferencia significativa en la respuesta de la planta a la adición del N.
- 7) Se tiene por válida una marcada diferencia en productividad agrícola en los ciclos de caña planta y retoño, que se traslada y refleja en la adición de N a las plantaciones comerciales.
- 8) No se evidencia un efecto negativo claro y directo al adicionar altas dosis de N sobre la concentración de sacarosa en los tallos, como lo reporta la literatura, lo que justifica realizar más investigación.
- 9) En el caso de Costa Rica la incorporación del N al suelo resulta determinante en consideración de las altas precipitaciones prevaeciente en algunas zonas productoras de caña, como también la baja acidez y la alta temperatura de otras. El potencial de pérdida por lixiviación, volatilización, denitrificación y arrastre del producto deben ser siempre considerados y prudencialmente contrarrestados y minimizados.
- 10) Se considera que en el caso particular de Costa Rica el uso del N es deficiente y mayoritariamente alto aunque no excesivo en proporcionalidad a las productividades obtenidas, lo que amerita y justifica revisar criterios de uso comercial basados en productividad y rentabilidad.
- 11) El empleo de fuentes líquidas de N aplicadas al suelo o en aplicación foliar ha sido poco estudiada, pero de resultados poco satisfactorios cuando ha ocurrido.

- 12) La decisión de cual fuente nitrogenada emplear y dosis aplicar, debe responder a un análisis de las condiciones y particularidades del entorno productivo. No caben en esta materia las generalizaciones sin fundamento técnico comprobado. La experiencia y los resultados de la investigación son determinantes.
- 13) Se considera que la cantidad de fórmulas comerciales existentes en el mercado para aplicación de N es excesiva e inconveniente. Es necesario concentrar esfuerzos en unificar las mismas.
- 14) Sin humedad suficiente en el suelo la fertilización pierde efectividad y sentido técnico.
- 15) La práctica de la fertilización debe conceptual y pragmáticamente responder a una noción de nutrición integral donde participan otros nutrientes y factores de la producción.
- 16) La racionalización de los costos debe técnica y administrativamente orientarse a maximizar beneficios productivos y ambientales y minimizar pérdidas optimizando la eficiencia del N.
- 17) Resulta imperativo orientar y concentrar esfuerzos institucionales y empresariales en procurar establecer y operar programas de fertilización basados en los principios de la agricultura de precisión y de sitio, mediante la aplicación diferenciada de nutrientes esenciales en función y atención de su comprobada necesidad. En este sentido debe avanzarse hacia la mecanización del empleo de fuentes (tasa variable) y no de fórmulas (tasa fija) lo que asegura la optimización nutricional y de costos implicados.
- 18) La baja rentabilidad por bajos precios de liquidación constituye un serio desincentivo a la nutrición y en general a la necesaria inversión en tecnología, que se traduce inexorablemente en baja productividad agroindustrial.
- 19) El uso sensato, prudente y técnico del N entraña insoslayablemente un juicio y valoración de los beneficios y afectaciones que el nutriente puede generar y que deben atenderse. Hay que aceptar que los procedimientos y prácticas agronómicas ya no son exclusivas del ámbito agrícola sino de la comunidad en general.

### Literatura Citada

- 1) ANGULO, A.; CHAVES, M. 1999a. **Interacción de la fertilización orgánica / inorgánica sobre los rendimientos agroindustriales de la caña de azúcar. Promedio de cuatro cosechas. Cañas, Guanacaste.** Congreso Nacional Agronómico y de Recursos Naturales, 11, Congreso Nacional de Entomología, 5, Congreso Nacional de Fitopatología, 4, Congreso Nacional de Suelos, 3, Congreso Nacional de Extensión Agrícola y Forestal, 1, San José, Costa Rica, 1999. Memoria: *Recursos Naturales y Producción Animal*. San José, Colegio de Ingenieros Agrónomos: EUNED, julio. Volumen III. p: 75.
- 2) ANGULO, A.; CHAVES, M. 1999b. **Efecto de nueve dosis de cachaza sobre los rendimientos agroindustriales de la caña de azúcar. Promedio de cuatro cosechas. Cañas, Guanacaste.** Congreso Nacional Agronómico y de Recursos Naturales, 11, Congreso Nacional de Entomología, 5, Congreso Nacional de Fitopatología, 4, Congreso Nacional de Suelos, 3, Congreso Nacional de Extensión Agrícola y Forestal, 1, San José, Costa Rica, 1999. Memoria: *Recursos Naturales y Producción Animal*. San José, Colegio de Ingenieros Agrónomos: EUNED, julio. Volumen III. p: 74.
- 3) ANGULO, A.; CHAVES M.; GUZMÁN, G. 1996a. **Efecto de cinco dosis crecientes de Nitrógeno sobre los rendimientos agroindustriales de tres variedades comerciales de caña de azúcar, promedio de cuatro cosechas, en un Inceptisol de Cañas, Guanacaste.** Congreso Nacional Agronómico y de Recursos Naturales, 10, Congreso Nacional de Fitopatología, 3, Congreso Nacional de Suelos, 2, San José, Costa Rica, 1996. Memoria: *Suelos*. San José, Colegio de Ingenieros Agrónomos, Asociación Costarricense de Fitopatología y Asociación Costarricense de Suelos: EUNED, EUNA, julio. Volumen III. p: 153.
- 4) ANGULO, A.; CHAVES, M.; GUZMÁN, G. 1996b. **Efecto de la forma de colocación de tres fuentes de fertilizante nitrogenado sobre los rendimientos agroindustriales de la caña de azúcar, promedio de cuatro cosechas, en un Inceptisol de Cañas, Guanacaste.** Congreso Nacional Agronómico y de Recursos Naturales, 10, Congreso Nacional de Fitopatología, 3, Congreso Nacional de Suelos, 2, San José, Costa Rica, 1996. Memoria: *Suelos*. San José, Colegio de Ingenieros Agrónomos, Asociación Costarricense de Fitopatología y Asociación Costarricense de Suelos: EUNED, EUNA, julio. Volumen III. p: 154.
- 5) ANGULO, A.; CHAVES, M.; GUZMÁN, G. 1996c. **Efecto del fraccionamiento de los macronutrientes (N-P-K) sobre los rendimientos agroindustriales de la caña de azúcar, promedio de cuatro cosechas, en un Inceptisol de Cañas, Guanacaste.** Congreso Nacional Agronómico y de Recursos Naturales, 10, Congreso Nacional de Fitopatología, 3, Congreso Nacional de Suelos, 2, San José, Costa Rica, 1996. Memoria: *Suelos*. San José, Colegio de Ingenieros Agrónomos, Asociación Costarricense de Fitopatología y Asociación Costarricense de Suelos: EUNED, EUNA, julio. Volumen III. p: 156.

- 6) ANGULO MARCHENA, A.; CHAVES S., M.; GUZMÁN S., G. 2006. **Respuesta agroindustrial de tres variedades de caña de azúcar a tres dosis crecientes de Nitrógeno. Promedio de dos cosechas. Cañas, Guanacaste.** Congreso de la Asociación de Técnicos Azucareros de Centroamérica (ATACA), 16, Congreso de la Asociación de Técnicos Azucareros de Costa Rica (ATACORI), 16. Heredia, Costa Rica, 2006. Memoria. San José, Asociación de Técnicos Azucareros de Costa Rica (ATACORI), agosto. Tomo II. p: 766-774.
- 7) ANGULO MARCHENA, A.; CHAVES S., M.; GUZMÁN S., G. 2006. **Dosis interactivas de Nitrógeno y Potasio en la fertilización de la caña de azúcar y su efecto sobre los rendimientos agroindustriales. Promedio de tres cosechas. Cañas, Guanacaste.** Congreso de la Asociación de Técnicos Azucareros de Centroamérica (ATACA), 16, Congreso de la Asociación de Técnicos Azucareros de Costa Rica (ATACORI), 16. Heredia, Costa Rica, 2006. Memoria. San José, Asociación de Técnicos Azucareros de Costa Rica (ATACORI), agosto. Tomo II. p: 786-797.
- 8) ARIAS, J. **Ensayo sobre N-P-K en caña de azúcar Meseta Central Occidental 2do corte. 1984.** Congreso Agronómico Nacional, 6, San José, Costa Rica, 1984. Resúmenes. San José, Colegio de Ingenieros Agrónomos, julio. Volumen 1. p: 62-63.
- 9) BARRANTES J.C.; CHAVES S., M. 2003. **Efecto de seis fuentes nitrogenadas sobre la producción agroindustrial de caña de azúcar (*Saccharum spp*), en un Ultisol de Pérez Zeledón, Costa Rica. Promedio de 4 cosechas.** Congreso de ATACORI “*Ing. Agr. José Luis Corrales Rodríguez*”, 15, Carrillo, Guanacaste, Costa Rica, 2003. Memoria. San José, Asociación de Técnicos Azucareros de Costa Rica (ATACORI), setiembre. p: 299-304.
- 10) BERROCAL, M. 1988. **Efecto de los Residuos de la Agroindustria Azúcar-Alcoholera, Bagazo, Cachaza y Vinaza, en la Producción de Caña y Azúcar en un Vertisol de Guanacaste.** Agronomía Costarricense (Costa Rica) 12(2): 147-153.
- 11) CALDERÓN ARAYA, G.; CHAVES S., M. 2006a. **Evaluación de siete fuentes de Nitrógeno sobre la producción agroindustrial de la caña de azúcar, variedad B 77-95, en un Ultisol de Florencia, Turrialba. Promedio de dos cosechas.** Congreso de la Asociación de Técnicos Azucareros de Centroamérica (ATACA), 16, Congreso de la Asociación de Técnicos Azucareros de Costa Rica (ATACORI), 16. Heredia, Costa Rica, 2006. Memoria. San José, Asociación de Técnicos Azucareros de Costa Rica (ATACORI), agosto. Tomo II. p: 782-785.
- 12) CALDERÓN ARAYA, G.; CHAVES S., M. 2006b. **Efecto del fraccionamiento del N-P-K sobre la producción agroindustrial de la caña de azúcar, variedad B 77-95, en un Inceptisol de Atirro, Turrialba. Caña planta.** Congreso de la Asociación de Técnicos Azucareros de Centroamérica (ATACA), 16, Congreso de la Asociación de Técnicos Azucareros de Costa Rica (ATACORI), 16. Heredia, Costa Rica, 2006. Memoria. San José,

- Asociación de Técnicos Azucareros de Costa Rica (ATACORI), agosto. Tomo II. p: 807-812.
- 13) CHAVARRÍA, E.; VILLALOBOS, C.; CHAVES, M. 1999. **Evaluación del efecto de 6 dosis crecientes de Nitrógeno sobre la producción de la caña de azúcar, en un Inceptisol de Esparza de Puntarenas. Promedio de 3 cosechas.** 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: 342.
  - 14) CHAVES SOLERA, M.A. 1983. **Nuevas recomendaciones para la fertilización de la caña de azúcar en Costa Rica.** Boletín Informativo DIECA (Costa Rica) Año 1, Nº 4, San José, diciembre. p: 1-3.
  - 15) 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.
  - 16) CHAVES S., M.A. 1989. **Nutrición de la caña de azúcar en Costa Rica, sus logros y la necesidad de nuevos enfoques en su estudio.** Congreso Agronómico Nacional, 8, Cartago, Costa Rica. 1989. Resúmenes. San José, Colegio de Ingenieros Agrónomos, julio. Volumen 1. p: 80-81.
  - 17) CHAVES SOLERA, M. 1996. **Experiencias con la fertilización de la caña de azúcar en Costa Rica.** Congreso de ATACORI “*Cámara de Productores de Caña del Pacífico*”, 10, Guanacaste, Costa Rica, 1996. Memoria. San José, Asociación de Técnicos Azucareros de Costa Rica, setiembre. p: 76-84.
  - 18) CHAVES SOLERA, M. 1997a. **El Nitrógeno y la caña de azúcar.** Congreso de ATACORI “*Roberto Mayorga C.*”, 11, San Carlos Costa Rica, 1997. Memoria. San José, ATACORI, octubre-noviembre. Tomo I p: 39-65.
  - 19) CHAVES SOLERA, M.A. 1997b. **Resumen de las actividades de generación y transferencia de tecnología más sobresalientes obtenidas por DIECA durante 1996.** San José, Costa Rica. LAICA-DIECA, junio. 37 p.
  - 20) CHAVES, M. 1999. **Nutrición y fertilización de la caña de azúcar en Costa Rica.** 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.
  - 21) CHAVES SOLERA, M. 1999. **El Nitrógeno, Fósforo y Potasio en la caña de azúcar.** San José, Costa Rica. LAICA-DIECA, setiembre. 130 p.
  - 22) CHAVES SOLERA, M. 2003. **Fertilización de la caña de azúcar en Costa Rica: experiencias de los Últimos 20 Años (Periodo 1980-2000).** Congreso de ATACORI “*Ing. Agr. José Luis Corrales Rodríguez*”, 15, Carrillo, Guanacaste, Costa Rica, 2003. Memoria. San José, Asociación de Técnicos Azucareros de Costa Rica (ATACORI), setiembre. p: 49-54.

- 23) CHAVES SOLERA, M. 2005. **La fertilización en la producción de caña de azúcar orgánica.** San Ramón, Alajuela, Costa Rica. LAICA-DIECA, setiembre. Presentación Electrónica en Power Point. 6 Láminas.
- 24) CHAVES SOLERA, M. 2008. **Consideraciones técnico - económicas para la correcta nutrición y fertilización de la caña de azúcar en Guanacaste.** EARTH, Liberia, Guanacaste, Costa Rica. LAICA-DIECA, diciembre. Presentación Electrónica en Power Point. 110 Láminas.
- 25) 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.
- 26) CHAVES SOLERA, M. 2012a. **Relaciones catiónicas y su importancia para la agricultura.** Revista Especializada Ventana Lechera, Dos Pinos. Fertilización: Práctica para mejorar la calidad y producción de forraje. San José, Costa Rica. Edición N° 18, Año 6, febrero 2012. p: 10-20.
- 27) CHAVES SOLERA, M. 2012b. **Comparativo de la fertilización aplicada a las plantaciones comerciales de caña de azúcar en Costa Rica.** 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. 30 p.
- 28) CHAVES SOLERA, M. 2015a. **Principales variedades de caña cultivadas comercialmente en algunos países de tradición azucarera del continente americano.** San José, Costa Rica. LAICA-DIECA, marzo. 25 p.
- 29) CHAVES SOLERA, M.A. 2015b. **Errores y omisiones técnico-administrativas que sacrifican productividad y cuestan dinero en la agroindustria azucarera.** San José, Costa Rica. LAICA-DIECA, febrero. 16 p.
- 30) 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.
- 31) CHAVES SOLERA, M.A.; ALVARADO H., A. 1994. **Manejo de la fertilización en plantaciones de caña de azúcar (*Saccharum spp*) en Andisoles de ladera de Costa Rica.** Memorias. 15th World Congress of Soil Science. International Society of Soil Science (ISSS). Acapulco, México, del 11 al 15 de julio de 1994. Volumen 7a. p: 353-372.
- 32) CHAVES, M.; ARREA, M. 1986. **Fertilización con N, P, K en la caña de azúcar en un suelo Ultisol de Platanillo de Turrialba, promedio de 3 cortes.** Congreso Agronómico Nacional, 7 y Congreso de Horticultura ASHS- Región Tropical, 33, Heredia, Costa Rica, 1986. Resúmenes. San José, Colegio de Ingenieros Agrónomos, Sociedad Americana de Ciencias Hortícolas Región Tropical-ASHS, CATIE y W.K. Kellogg, julio-agosto. p: 110-112.

- 33) CHAVES SOLERA, M.; BARRANTES MORA, J.C. 2007. **Nutrición de la caña de azúcar en la zona sur de Costa Rica: experiencias continuadas durante el periodo 1986-2006.** San José, Costa Rica. LAICA-DIECA, setiembre. 30 p.
- 34) CHAVES SOLERA, M.A.; BERMÚDEZ ACUÑA, L. 2015. **Agroindustria azucarera costarricense: un modelo organizacional y productivo efectivo con 75 años de vigencia.** Congreso de la Caña de Azúcar - TECNICAÑA 2015, 10, Cali, Colombia. Memoria: *Responsabilidad social empresarial, administración y gerencia, medio ambiente y sostenibilidad.* Asociación Colombiana de Técnicos de la Caña de Azúcar, del 14 al 18 de setiembre 2015. p: 159-171.
- 35) CHAVES SOLERA, M.A.; CORRALES RODRIGUEZ, J.L. 1984. **Estudio comparativo de fórmulas y dosis fertilizantes con un complemento de Magnesio sobre los rendimientos de la caña de azúcar.** Congreso Agronómico Nacional, 6, San José, Costa Rica, 1984. Resúmenes. San José, Colegio de Ingenieros Agrónomos, julio. Volumen 1. p: 60-61.
- 36) CHAVES SOLERA, M.; CHAVARRÍA SOTO, E. 2013. **¿Cómo se distribuye y dónde se cultiva territorialmente la caña destinada a la fabricación de azúcar en Costa Rica?** Congreso de la Asociación de Técnicos Azucareros de Centroamérica (ATACA), 19, Congreso de la Asociación de Técnicos Azucareros de Costa Rica (ATACORI), 20, “MSc Marco A. Chaves Solera”. Centro de Conferencias del Hotel Wyndham Herradura, Heredia, Costa Rica, 2013. Memoria. San José, Asociación de Técnicos Azucareros de Costa Rica (ATACORI), 11-13 de setiembre. Tomo I. p: 179-203.
- 37) CHAVES S., M.A.; GUZMAN S., G. 1993a. **Valoración de la composición química de muestras de cachaza fresca procedentes de ocho ingenios de las cinco regiones productoras de caña de azúcar de Costa Rica.** Congreso Nacional Agronómico y de Recursos Naturales, 9, San José, Costa Rica, 1993. Resúmenes. San José, Colegio de Ingenieros Agrónomos, octubre. Volumen II (1):46.
- 38) CHAVES S., M.A.; GUZMAN S., G. 1993b. **Variación de la composición química de la cachaza fresca de ocho ingenios azucareros de Costa Rica durante la zafra 1992-93.** Congreso Nacional Agronómico y de Recursos Naturales, 9, San José, Costa Rica, 1993. Resúmenes. San José, Colegio de Ingenieros Agrónomos, octubre. Volumen II (1):49.
- 39) CHAVES S., M.A.; SALAZAR, J. 1989. **El uso de las concentraciones de N y K en la sección 8-10 del tallo, como criterio para determinar el estado de madurez de la caña de azúcar.** Congreso Agronómico Nacional, 8, Cartago, Costa Rica, 1989. Resúmenes. San José, Colegio de Ingenieros Agrónomos, julio. Volumen 1. p: 59-61.
- 40) CHAVES, M.; ANGULO, A.; GUZMÁN, G. 1996. **Efecto del tiempo de descomposición sobre los contenidos químicos de la cachaza originada por la agroindustria azucarera.** Congreso Nacional Agronómico y de Recursos Naturales, 10, Congreso Nacional de Fitopatología, 3, Congreso Nacional de Suelos, 2, San José,

- Costa Rica, 1996. Memoria: *Suelos*. San José, Colegio de Ingenieros Agrónomos, Asociación Costarricense de Fitopatología y Asociación Costarricense de Suelos: EUNED, EUNA, julio. Volumen III. p: 174.
- 41) CHAVES, M.; ANGULO, A.; GUZMÁN, G. 1999. **Consecuencias del tiempo de almacenamiento de la cachaza en el campo sobre su contenido químico y su riqueza nutricional**. Participación de DIECA en el XI Congreso Nacional Agronómico y de Recursos Naturales. San José, Costa Rica. LAICA-DIECA, julio 1999. p: 178.
- 42) CHAVES SOLERA, M.; BERMÚDEZ ACUÑA, L.; MENDEZ PÉREZ, D. 2015. **Análisis de resultados agroindustriales finales de la zafra 2014-2015**. Boletín Informativo "Conexión", Número 9, Enero-Diciembre 2015, LAICA, San José, Costa Rica. 31 p.
- 43) CHAVES, M.; RODRÍGUEZ, M.; ANGULO, A. 1999. **Fertilización de las plantaciones comerciales de caña de azúcar en la región de Guanacaste**. 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: 339.
- 44) CHAVES, M.; RODRÍGUEZ, M.; GUZMÁN, G. 1999. **Evaluación química de muestras de cachaza proveniente de dos ingenios azucareros de Guanacaste sometidas a descomposición en el campo**. 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: 423.
- 45) CHAVES S., M.A.; SALAZAR, J.; GUZMAN, G. 1989. **Efecto de seis dosis crecientes de Nitrógeno sobre los rendimientos agroindustriales de la variedad de caña de azúcar "H 44-3098". Promedio de dos cosechas**. Congreso Agronómico Nacional, 8, Cartago, Costa Rica, 1989. Resúmenes. San José, Colegio de Ingenieros Agrónomos, julio. Volumen 1. p: 106-107.
- 46) CHAVES S., M.A.; SALAZAR, J.; GUZMAN, G.; MADRIZ, T. 1989. **Respuesta de la caña de azúcar, variedad "H 44-3098" a la interacción N - K en Hacienda Juan Viñas, promedio de dos cosechas**. Congreso Agronómico Nacional, 8, Cartago, Costa Rica, 1989. Resúmenes. San José, Colegio de Ingenieros Agrónomos, julio. Volumen 1. p: 124-125.
- 47) OLIVEIRA, M.W.; TRIVELIN, P.C.O.; BENDASSOLLI, J.A. 1999. **Volatilização de amônia da uréia (<sup>15</sup>N) aplicada ao solo com o sim cobertura da palhada em diferentes manejos na adubação da soqueira**. CONGRESSO NACIONAL DA STAB, 7, 1999. Londrina. Anais... Londrina: (s.n.), 1999, v. 1, p. 96-99.
- 48) QUIROS V., J. M.; CHAVES S., M.A. 1993. **Evaluación del efecto de seis dosis crecientes de Nitrógeno en tres clones comerciales de caña de azúcar, ciclo planta, en un Ultisol de Pérez Zeledón**. Congreso Nacional Agronómico y de Recursos

- Naturales, 9, San José, Costa Rica, 1993. Resúmenes. San José, Colegio de Ingenieros Agrónomos, octubre, 1993. Volumen II (1):56.
- 49) ROBLES, F. 1984. **Respuesta de la caña siembra y 1 soca al N-P-K en la zona alta de San Carlos.** Congreso Agronómico Nacional, 6, San José, Costa Rica, 1984. Resúmenes. San José, Colegio de Ingenieros Agrónomos, julio. Volumen 1. p: 64.
- 50) SALAZAR, J.D.; RODRÍGUEZ, J.M. 2000. **Respuesta de la caña de azúcar al fraccionamiento de N y K en diferentes épocas de aplicación, promedio de cuatro cosechas, en un Inceptisol, San Carlos.** Congreso de ATALAC, 5, Congreso de ATACA, 13 y Congreso de ATACORI, 14, Heredia, Costa Rica, 2000. Memoria. San José, ATACORI. p: 96.
- 51) VEGA, G.; CHAVES, M.; CORRALES, J. 1986. **Estudio comparativo de fórmulas y dosis fertilizantes con un complemento de Nitrógeno sobre los rendimientos agroindustriales de la caña de azúcar.** Congreso Agronómico Nacional, 7 y Congreso de Horticultura ASHS-Región Tropical, 33, Heredia, Costa Rica, 1986. Resúmenes. San José, Colegio de Ingenieros Agrónomos, Sociedad Americana de Ciencias Hortícolas Región Tropical-ASHS, CATIE y W.K. Kellogg, julio-agosto. p: 127-128.
- 52) VILLALOBOS MÉNDEZ, C.; CHAVES S., M. 2006. **Efecto de la aplicación fraccionada del N-P-K, sobre los rendimientos agroindustriales de la caña de azúcar, cultivada en un Inceptisol de Esparza, Puntarenas. Promedio de 2 cosechas.** Congreso de la Asociación de Técnicos Azucareros de Centroamérica (ATACA), 16, Congreso de la Asociación de Técnicos Azucareros de Costa Rica (ATACORI), 16. Heredia, Costa Rica, 2006. Memoria. San José, Asociación de Técnicos Azucareros de Costa Rica (ATACORI), agosto. Tomo II. p: 798-806.