

Sinergismo N-K y productividad agroindustrial de la caña de azúcar en Costa Rica.

Marco A. Chaves Solera¹

Introducción

Es conocido que para la correcta valoración e interpretación nutricional del cultivo de la caña de azúcar, no basta con conocer y juzgar apenas las especies y las concentraciones particulares, en suelo y planta, de un determinado nutrimento, sino que se debe ser más amplio en su conceptualización y relacionar las interacciones que puedan establecerse entre ellos. Son muchas las interacciones conocidas, como acontece con: C-N, N-P, N-K, N-S, N-Cu, Ca-P, K-P, P-Fe, P-B, P-Al, P-Zn, P-Cu, Ca-Mg, Ca-K, Mg-K, Mg-Mn, K-Na, S-Zn, S-Mo, Na-Cl, entre otras. En este sentido el Sistema Integrado de Diagnóstico y Recomendación (DRIS), empleado en caña de azúcar como criterio para la prescripción del estado nutricional de los tejidos de la planta, evalúa la interacción entre nutrimentos, como acontece con: N, P, K, Ca, Mg, S, Fe, Mn y Cu, bajo la presunción de que toda variación en un elemento, en un momento dado, correlaciona positiva o negativamente con uno o varios nutrimentos, sin importar su importancia relativa (IAA/PLANALSUCAR 1983). Una interacción se da cuando el nivel de un factor, relacionado con la producción, influye en la respuesta de otro factor, la cual puede ser positiva (sinergismo) o en su caso antagónica si la respuesta es mayor o menor a su empleo individual. En este sentido, el N y el K mantienen una sinergia importante y en general muy positiva, donde por función y funcionabilidad de los nutrimentos su acción metabólica y expresión productiva agroindustrial es diferente a su aplicación en el campo. Sin embargo, cationes como el NH_4^+ y el K^+ al ser monovalentes, generan un efecto antagónico, por lo que entre más alta sea la cantidad aplicada de NH_4^+ en el suelo, menor será la absorción de K^+ por las raíces y viceversa; por el contrario, el K^+ mejora la absorción y transporte del N, especialmente en forma de NO_3^- en las raíces. Asegura Chaves (2012a), que *“...las relaciones, y no exclusivamente las concentraciones absolutas de las especies iónicas participantes, influyen de manera significativa en la relación suelo-planta; ello se refleja en la absorción, la composición mineral y consecuentemente en la producción de las plantas.”*

El estudio de la nutrición y la fertilización del cultivo de la caña de azúcar en Costa Rica, cuenta con una importante base investigativa y pragmática que permite y favorece un manejo racional y técnicamente bien fundamentado de los elementos y factores que intervienen y participan en sus relaciones (Chaves 2017ab, 2016abc, 2012b, 2010, 2003, 1999ab, 1996, 1986; Chaves y Barrantes 2007; LAICA-DIECA 2017, 2016, 2015, 2014, 2013). En lo particular Chaves (1988) y Chaves *et al*

¹ Ingeniero Agrónomo, MSc. Gerente. **Departamento de Investigación y Extensión de la Caña de Azúcar (DIECA-LAICA)**, Costa Rica. E-mail: mchavez@laica.co.cr. Teléfono 2284-6066.

(1991) han abordado y profundizado en el tema de las relaciones catiónicas a nivel de suelo, particularmente en la relación Ca:Mg.

La complementariedad nutricional N-K ha demostrado resultados productivos muy satisfactorios que redundan en incrementos significativos en el tonelaje de caña (t/ha) y la concentración de sacarosa en los tallos (kg/t de caña molida), lo que consecuentemente se traduce en más azúcar recuperada por área (t/ha). La insuficiencia o los excesos de cualquiera de ellos generan desproporciones y desbalances en el suelo y en la planta, que pueden convertir la relación en antagónica como se ha demostrado, con los consecuentes impactos negativos sobre la productividad agroindustrial y la rentabilidad final de la agro empresa. Es por este motivo importante analizar de manera independiente y también asociada como interacción, el accionar del N y el K en la caña de azúcar, con lo cual es viable optimizar su empleo y maximizar el beneficio de ambos nutrimentos, como se pretende exponer en este caso.

Metodología

Para dilucidar y ponderar apropiada y correctamente la importancia e incuestionable relevancia existente entre estos dos macronutrimentos esenciales, se procedió a revisar e interpretar los resultados de varios experimentos realizados y experiencias comerciales conocidas en el país, vinculados directamente con la numerosa información internacional que sobre la materia hay publicada; motivo por el cual, las conclusiones y comentarios no son atribuibles exclusivamente a alguna prueba experimental en particular sino a conceptos más genéricos.

Resultados

La investigación y la experiencia comercial han demostrado con creces que para lograr potenciar el efecto del N en la planta de caña y alcanzar rendimientos agroindustriales elevados, es fundamental y necesaria la adición de cantidades adecuadas de K; lo cual opera también en sentido inverso. Ambos nutrimentos tienen una función y funcionabilidad muy particular, especial y específica en el suelo y en la planta, siendo determinantes en el metabolismo general de la planta de caña, como lo han señalado Chaves (2017ab, 2016ab, 1999ab), Penatti (2013) y IAA/PLANALSUCAR (1983) al describir y puntualizar su actividad funcional.

Sobre N su actividad, importancia y participación está muy clara, siendo determinante en la formación de aminoácidos y proteínas, aminos, amidas, amino azúcares, nucleótidos, purinas y pirimidinas, alcaloides, coenzimas, vitaminas y pigmentos, molécula de clorofila, estructura molecular de ácidos nucleicos (ADN y ARN) y citocromos, entre otras. Virtud de su fuerte acción enzimática, el K mejora ostensiblemente la absorción y transporte del N, especialmente en forma de NO_3^- y aminoácidos solubles en las raíces y también dentro de la planta, evitando su concentración, como acontece con su deficiencia. Esa alta concentración de compuestos nitrogenados detiene la absorción de NO_3^- , interviniendo y afectando la biosíntesis de proteínas provocando consecuencias fisiológicas expresadas en trastornos metabólicos en la planta que intervienen negativamente el rendimiento. El rol del ion K^+ en la regulación de las relaciones hídricas de la planta es

incuestionable; así como en la actividad de la enzima Invertasa (ácida-neutra) perteneciente a la familia de las disacaridasas, que son las enzimas hidrolíticas encargadas de romper los disacáridos en los monosacáridos que los forman, por lo cual en el caso de la caña es determinante para promover el crecimiento, la maduración y la concentración de sacarosa en los tallos de la planta. Se tiene por conocido que el exceso de N en el tejido vegetal durante la época de cosecha se constituye en una de las principales causas de las bajas concentraciones de sacarosa en el jugo de caña; siendo este contenido (N) producto del balance entre la cantidad total de sacarosa sintetizada y la cantidad hidrolizada por la actividad de la invertasa ácida y neutra. La literatura reporta durante la etapa de maduración un aumento en la actividad de la invertasa neutra y una disminución de la ácida la cual domina en la fase de crecimiento, lo cual se vinculó con la concentración de sacarosa en los tallos.

En Costa Rica los ámbitos de respuesta generados por antecedente por la investigación y la experiencia comercial, se ubican entre 80 - 300 kg/ha para el N y 80 - 250 kg de K-K₂O/ha, respectivamente; los cuales varían en función del ciclo vegetativo (planta, retoño), tiempo para cosecha (12-24 meses), tipo de suelo, grado de fertilidad actual, variedad sembrada (hawaianas consumen más), altura del lugar (0-1.550 msnm), manejo de la plantación (riego, quema, uso de materia orgánica), fertilización aplicada en términos de fuente, cantidad y balances y expectativa de productividad esperada. Los programas de fertilización nacional prestan atención particular por el uso del N y el P, minimizando muchas veces la importancia del K virtud de poseer una función y funcionabilidad diferente en la planta que es menos expresiva en términos de productividad (t/ha) de caña, lo que por función enzimática del elemento afecta la acción del N, la calidad de los jugos de la caña y el azúcar recuperada y fabricada en el ingenio. Resulta obligado e inexcusable tener muy presente y controlar la relevancia de las relaciones iónicas entre N-K y su impacto en la productividad agroindustrial de la caña de azúcar.

En el cuadro siguiente se expone el resultado promedio de producción de dos cosechas (22 y 24 meses) de una investigación realizada en una zona alta de Juan Viñas (1.050 msnm), suelo Andisol, empleando la variedad comercial H44-3098 (Chaves *et al* 1989). Se estudiaron en interacción 4 dosis crecientes de N y K (K₂O): 0, 100, 200 y 300 kg/ha con una base general de P de 200 kg P₂O₅/ha; adicionalmente un testigo absoluto y otro testigo relativo aplicando la fertilización empleada en ese momento por la empresa (300-77-154). Se infiere de los resultados de 4 repeticiones sin evidenciar diferencias estadísticas significativas aunque si económicas determinantes, que hubo un incremento importante del tonelaje de caña y azúcar cuando se adicionaron dosis altas de N y estas se complementaron con altas de K. La insuficiencia de K afectó la calidad de los jugos expresada en su concentración de brix (%) y de sacarosa (kg/t caña). La mejor interacción N-K en concentración de sacarosa fue de 100-100 kg/ha y en productividad de caña y azúcar (t/ha) fue de 300-200 kg, que superaron al testigo de la finca en 5,9% (12,5 t) y 7,5% (1,89 t), respectivamente. El tratamiento más rentable fue: 200-100 kg de N-K₂O. No incorporar N o K fue siempre limitante aunque su contraparte fuera adicionada, lo que ratifica la sinergia de la interacción.

N°	Dosis (kg / ha)			Brix (%)	Rendimiento Industrial (kg sacarosa/t)	Producción (t/ha)	
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O			Caña	Azúcar
1	0	200	0	18,79	116,11	173,0	20,2
2	0	“	100	18,75	117,37	184,1	21,6
3	0	“	200	18,36	112,45	172,8	19,5
4	0	“	300	<u>19,97</u>	116,74	192,9	22,5
5	100	“	0	18,97	117,22	191,7	22,5
6	100	“	100	19,22	<u>121,12</u>	198,6	24,1
7	100	“	200	18,91	116,46	214,6	25,1
8	100	“	300	18,72	112,41	211,3	23,8
9	200	“	0	18,84	114,65	155,7	17,9
10	200	“	100	19,43	120,04	223,6	26,9
11	200	“	200	19,07	120,09	209,2	25,1
12	200	“	300	18,67	116,91	192,4	22,3
13	300	“	0	18,98	114,62	207,0	24,1
14	300	“	100	18,75	120,39	218,4	26,4
15	300	“	200	19,01	120,11	<u>225,0</u>	<u>27,1</u>
16	300	“	300	18,48	115,60	192,2	22,3
17	0	0	0	19,19	118,00	192,0	24,7
18	300	77	154	19,16	118,75	212,5	25,2
Promedio		--	--	18,96	117,17	198,17	23,29
CV (%)		--	--	4,23	4,98	15,09	17,51

Chaves, Salazar, Guzmán y Madriz (1989).

El cuadro seguido expone el resultado de una investigación desarrollada en un suelo Inceptisol de Cañas, Guanacaste (12 msnm), cultivando la variedad SP81-3250, cosechada con 11-12 meses (Angulo *et al* 1986). Se evaluaron en interacción 4 dosis de N: 0, 60, 120 y 180 kg/ha y 0,50, 100 y 150 kg K₂O/ha como Urea y KCl. Los indicadores agroindustriales promedio de tres cosechas mostraron significancia estadística (Tukey 5%), siendo la interacción 60-50 kg de N-K la que mayor concentración de sacarosa obtuvo; en tanto que 180-100 kg logró el mayor tonelaje de caña y azúcar (t/ha) y la mejor relación económica. La no adición de N y/o K fue productivamente negativa; las altas dosis no afectaron la calidad de los jugos. La productividad y la mejor interacción varía entre cosechas.

Dosis (kg/ha)			Porciento			Rendimiento Industrial (kg/t)	Tm/ha	
N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Brix	Pol	Fibra		Caña	Azúcar
0	80	50	22,06	20,05	14,69	116,19 ab	89,32 ef	10,37 fg
0	"	100	22,06	19,98	14,83	115,22 ab	93,08 de	10,69 e-g
0	"	150	<u>22,49</u>	<u>20,38</u>	14,80	116,66 ab	73,62 f	8,54 g
60	"	0	21,94	19,83	14,19	115,77 ab	106,81 cd	12,40 d-e
60	"	50	22,37	20,37	14,41	<u>119,01 a</u>	116,21 abc	13,84 a-d
60	"	100	21,73	19,53	14,69	112,54 ab	107,76 cd	12,16 d-f
60	"	150	21,98	20,15	14,84	117,02 ab	115,90 abc	13,55 b-d
120	"	0	21,78	19,61	<u>15,02</u>	111,93 ab	112,36 bc	12,55 c-f
120	"	50	21,87	19,39	14,47	111,14 b	116,10 abc	12,78 b-e
120	"	100	21,93	20,05	14,67	116,55 ab	122,31 abc	14,21 a-d
120	"	150	21,78	19,56	14,59	113,16 ab	130,67 a	14,82 ab
180	"	0	21,75	19,73	14,20	113,52 ab	125,45 ab	14,18 a-d
180	"	50	22,12	20,04	14,31	116,36 ab	125,43 ab	14,62 a-c
180	"	100	22,15	20,23	14,45	118,42 a	<u>133,29 a</u>	<u>15,83 a</u>
180	"	150	21,64	19,83	14,33	115,55 ab	127,15 ab	14,76 a-c
Promedio			21,98	19,91	14,56	115,27	113,03	13,02
CV (%)			2,24	3,24	3,77	3,76	9,23	10,17

Angulo, Chaves y Guzmán (1986).

Conclusiones

- 1) El diagnóstico y la correcta interpretación y manejo de la nutrición del cultivo de la caña de azúcar, debe integrar necesaria e ineludiblemente la condición de las especies químicas individuales, como también sus interacciones, sea en su acción antagónica o sinérgica, tanto en el suelo como en la planta.
- 2) El uso de enmiendas, como el encalado, y la fertilización (mineral y orgánica) alteran en grado variable la condición nutricional, el contenido y con ello la disponibilidad de nutrientes para las plantas, lo que debe necesariamente procurarse equilibrarse.
- 3) Criterios asociados con la Agricultura de Precisión y de "sitio específico", deben evaluarse y emplearse para un manejo técnico-económico óptimo de la nutrición del cultivo. La fertilización bajo criterio de Tasa Fija mediante el uso de fuentes y no de Tasa Variable con fórmulas comerciales, debe constituir la base para la aplicación óptima y balanceada de nutrientes.
- 4) La presencia de K⁺ debe optimizarse para favorecer la actividad del N, el metabolismo general de la planta, contribuir con el crecimiento y elevar la concentración de sacarosa a través de la actividad enzimática de la invertasa (ácida-neutra).
- 5) El ámbito de respuesta de la investigación y la experiencia comercial nacional, establece como límites 80 - 300 kg/ha para el N y 80 - 250 kg de K-K₂O/ha para el K, estableciéndose interacciones muy particulares para cada condición y entorno productivo virtud de sus particularidades.
- 6) Las fuertes condiciones de estrés (hídrico, térmico, nutricional, manejo) actuales sugieren un empleo óptimo del K en favor de su acción enzimática.
- 7) Pese a ser el K más extraído por la planta de caña, la respuesta de la adición del N es mayor, posiblemente por tener mayores pérdidas en el suelo y durante su absorción y metabolismo.

- 8) La mejor interacción N-K varía con el entorno productivo en sus componentes clima, tipo de suelo, condición de fertilidad, variedad sembrada, ciclo vegetativo y manejo de la plantación, entre otros; motivo por el cual debe ser definida en cada caso particular.

Literatura citada

- 1) 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.
- 2) Chaves Solera, M.A. 2017a. **Importancia del Potasio en la producción comercial de la caña de azúcar en Costa Rica.** Seminario Internacional Producción y Optimización de la Sacarosa en el Proceso Agroindustrial, Puntarenas, Costa Rica, 2017. Memoria Digital. San José, Costa Rica, Asociación de Técnicos Azucareros de Costa Rica (ATACORI), octubre 10 al 12, Hotel Double Tree Resort by Hilton. 22 p.
- 3) Chaves Solera, M.A. 2017b. **Suelos, nutrición y fertilización de la caña de azúcar en Costa Rica.** Seminario Internacional Producción y Optimización de la Sacarosa en el Proceso Agroindustrial, Puntarenas, Costa Rica, 2017. 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.
- 4) Chaves Solera, M.A. 2016a. **El Nitrógeno como factor de productividad agroindustrial de la caña de azúcar en Costa Rica.** Congreso Nacional Agropecuario, Forestal y Ambiental, 14, Centro de Conferencias del Hotel Wyndham Herradura, Heredia, Costa Rica, 2016. Memoria Digital. San José, Costa Rica, Colegio de Ingenieros Agrónomos de Costa Rica, octubre 27 al 29. 9 p.
- 5) Chaves Solera, M.A. 2016b. **Resultados de investigación con el uso del nitrógeno en la caña de azúcar en Costa Rica.** 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.
- 6) Chaves Solera, M.A. 2016c. **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.
- 7) 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.
- 8) 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.
- 9) 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.

- 10) Chaves Solera, M.; Barrantes Mora, J.C. 2007. **Nutrición de la caña de azúcar en la zona sur de Costa Rica: experiencias continuadas durante el periodo 1986-2006.** San José, Costa Rica. LAICA-DIECA, setiembre. 30 p.
- 11) Chaves Solera, M. 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.
- 12) Chaves, M. 1999a. **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.
- 13) Chaves Solera, M. 1999b. **El Nitrógeno, Fósforo y Potasio en la caña de azúcar.** San José, Costa Rica. LAICA-DIECA, setiembre. 130 p.
- 14) 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.
- 15) Chaves Solera, M.A.; Ribeiro, A.C.; Alvarez V., V.H.; De Felipo, B.V.; Novais De, R.F. 1991. **Efecto de relaciones Ca:Mg, utilizando Carbonatos y Sulfatos, sobre el crecimiento y la nutrición mineral de la caña de azúcar.** Congreso Tecnológico de la Caña de Azúcar, 3, San José, Costa Rica, 1989. Memorias. San José, LAICA-DIECA. p: 159-200.
- 16) Chaves S., M.A.; Salazar, J.; Guzmán, 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.
- 17) Chaves Solera, M.A. 1988. **Efeito de Relações Ca:Mg, utilizando Carbonatos e Sulfatos, sobre o crescimento e a nutrição mineral da cana-de-açúcar.** Tesis Magister Scientiae. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, Brasil. 186 p.
- 18) Chaves Solera, M.A. 1986. **Requerimientos, extracción y remoción de nutrimentos por la caña de azúcar.** Boletín Informativo DIECA (Costa Rica) Año 4, N° 29, San José. p: 1-2.
- 19) IAA/PLANALSUCAR. 1983. **Nutrição e adubação da cana-de-açúcar no Brasil.** Coordenação José Orlando Filho. Piracicaba, São Paulo, Brasil. 369 p.
- 20) LAICA-DIECA. 2017. **Informe de Resultados. Programa de Agronomía. Año 2016.** Grecia, Costa Rica. LAICA-DIECA, marzo. 95 p.
- 21) LAICA-DIECA. 2016. **Resultados 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. LAICA-DIECA, marzo. 90 p.
- 22) LAICA-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. LAICA-DIECA, mayo. 94 p.
- 23) LAICA-DIECA. 2013. **Resultados de las investigaciones ejecutadas por el Programa de Agronomía en el cultivo de la caña de azúcar en Costa Rica durante el año 2013.** Grecia, Costa Rica. LAICA-DIECA, diciembre. 105 p.
- 24) Penatti, C.P. 2013. **Adubação da Cana-de-Açúcar: 30 anos de experiência.** Itu, São Paulo, Brasil. Ottoni editora. 347 p.