

Importancia del Potasio en la producción comercial de la caña de azúcar en Costa Rica.

Marco A. Chaves Solera¹

Introducción

El tema de la fertilización de plantas, en este particular la caña de azúcar, siempre resulta de gran interés no solo investigativo sino principalmente comercial virtud de las implicaciones y dimensiones que alcanza, por tratarse de un monocultivo extensivo en cuanto a sus áreas de cultivo pero intensivo en lo concerniente a su manejo agronómico. El hecho de constituir la fertilización y con ello el suministro de nutrimentos, uno de los factores externos de la producción que influyen de manera determinante sobre el crecimiento y desarrollo de la planta de caña, pero que puede el agricultor controlar con relativa mayor facilidad, hacen su abordaje muy especial y particular.

El cultivo de la caña de azúcar ocupa en Costa Rica un área importante de su territorio y muy amplia de la utilizada específicamente con fines azucareros, y no otros destinos (dulce, pecuario), estimada en 69.030 ha de las cuales solo el 89,5% correspondiente a 61.770 hectáreas (ha) se cosecha anualmente (Chaves *et al* 2016). La caña se siembra en un piso altitudinal amplio que va desde 0 a aproximadamente 1.550 msnm, estimando que cerca del 9,42% del azúcar se produce en localidades altas superiores a 1.000 msnm, lo que implica contar con plantaciones que mantienen ciclos vegetativos que van desde los 12 hasta los 24 meses de edad que condicionan y determinan las características y el biotipo de las variedades sembradas y, por ende, los patrones de fertilización implicados (Chaves 2017c). Es reconocido en esta materia el cultivo de clones de origen hawaiano (sigla

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 (506) 2284-6066 / (506) 2284- 6067 / Fax (506) 2223-0839.

Presentado En: **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.

H) en las zonas altas, los cuales como ha sido oportunamente señalado (Chaves 1998, 1999b) son ávidos por la absorción de nutrimentos en particular Potasio (K), el cual asimilan en cantidades importantes virtud de su mayor metabolismo y requerimientos que se traduce en índices de productividad elevados de hasta 200 t/ha/ciclo bianual. En lo particular, Chaves y Alvarado (1994) calificaron a la variedad H 50-7209 “...como un posible material de uso referencial como testigo experimental para diagnosticar K.”

La amplia dispersión territorial favorece y ubica el cultivo de la caña en condiciones bióticas y abióticas muy disimiles y heterogéneas, que determinan la presencia de entornos productivos muy diferentes en cuanto a condiciones de cultivo, lo que se expresa en un empleo diferenciado de los nutrimentos virtud de sembrarse en suelos clasificados taxonómicamente según criterio del Soil Survey Staff del United States Department of Agriculture (USDA 1999, 2014) en 9 Órdenes y 16 Subórdenes diferentes, como lo revelaran Chaves y Chavarría (2017ab). Esa variabilidad y holgura de la superficie cultivada motivan que los requerimientos por nutrimentos y fertilizantes, direccionada a incrementar o mantener la producción, sea muy elevada; a lo cual se une la enorme capacidad natural de extracción que posee la planta de caña, como ha sido comprobado en la práctica agrícola y demostrado experimentalmente (Alpízar 1976; Alfaro y Chaves 1999; Bertsch 2003; Chaves 1986, 1996, 1998, 1999a, 2003, 2007, 2012; Chaves et al 1999).

La situación económica, social y ambiental costarricense actual condicionada por los altos costos de producción y las amplias regulaciones de control que su realidad comercial interna le imponen, limitan el empleo de altas dosis de fertilizantes, lo cual obliga y exige un uso racional, prudente y preciso de los mismos, donde la optimización sea el instrumento, la minimización de sus posibles impactos negativos y la maximización de sus beneficios las metas procuradas alcanzar por cualquier sistema productivo, independientemente de su nivel tecnológico.

El Potasio en la caña de azúcar

Su importancia como nutrimento esencial de la planta de caña es incuestionable y su consideración y posible inclusión como parte de la fertilización comercial,

obligada. Al K se le considera el quinto elemento nutricional en importancia para las plantas, luego del carbono (C), Oxígeno (O), Hidrógeno (H) y Nitrógeno (N); motivo por la cual, como demostraran Chaves (1986, 1999ab) y Bertsch (2003), es el nutrimento por el que la caña de azúcar muestra mayor avidez razón por la que lo extrae y utiliza en mayor cantidad, reportándose extracciones que superan hasta los 1.000 kg de K₂O por ha, lo que dichosamente se ve atenuado debido a las importantes reservas que los suelos poseen de K total en su capa arable.

En un amplio estudio referencial, Chaves (1998, 1999b) encontró que la relación de extracción de nutrimentos por parte de la caña en el suelo y con ello, lo que consume desde siembra hasta cosecha, siguió el siguiente modelo como principal: K>N=Si>Ca>S>P>Mg, en el cual *“El resultado de 54 experimentos de campo e invernadero realizados en varias zonas cañeras del mundo, indican que para producir una tonelada de caña, esa planta extrae en promedio un equivalente aproximado a 1,65 kilogramos de K, con un intervalo (amplitud) entre los valores mínimo de 0,27 kg y máximo de 4,10 kg/TM de tallos, constituyéndose en el nutrimento más removido del suelo por la caña de azúcar.*

De acuerdo con esos valores y estimando una productividad promedio de 90 TM de caña/ha, el cultivo estará en capacidad de remover 148,5 kg de K/ha/año, lo cual proyectado a seis cosechas significa un total de 891 kg/ha, a lo que deben agregarse las pérdidas que por causa de los otros procesos descritos ocurren naturalmente en el campo.”

A manera de conclusión asevera el mismo autor (Chaves 1999b) al respecto, que *“...la caña es una planta que como extractora es muy eficiente y efectiva (CHAVES, 1996), por lo que rápidamente agota y deteriora la fertilidad de los suelos, sobre todo cuando no hay una política de FERTILIZACIÓN RESTITUTIVA”.*

Por su parte, Bertsch (2003) considerando y ampliando la información anterior reporta para 67 datos de diferente origen y naturaleza, un promedio de extracción de K de 1,50 kg de K₂O/t de caña en un ámbito de valores extremos de 0,7 a 2,8 kg/t, lo que ratifica la alta variabilidad del elemento.

Su relevancia se fundamenta en su activa y dinámica participación directa e indirecta en mecanismos metabólicos y fisiológicos asociados con la expresión y manifestación del potencial productivo de la planta de caña de azúcar. De manera genérica Chaves (1999b) destaca las siguientes funciones del K:

- ❖ Actúa como activador enzimático en más de 40 enzimas. Regula desde las reacciones de fosforilación hasta la síntesis de proteínas.
- ❖ El ion K^+ es el catión principal en el citoplasma, por lo que mantiene controlado el balance de las cargas aniónicas.
- ❖ Interviene en el control de la turgencia de células especializadas (estomas).
- ❖ Actúa sobre la apertura y cierre de los estomas.
- ❖ Interviene en el metabolismo de los carbohidratos y la formación del almidón.
- ❖ Interviene en la manutención del potencial osmótico de las células.
- ❖ Opera sobre el transporte de carbohidratos: la deficiencia de K induce reducción de la sacarosa en los tallos y la disminución de la respiración, fotosíntesis y formación de clorofila.
- ❖ Favorece la tolerancia a las heladas, la sequía y la salinidad de los suelos.
- ❖ Promueve la resistencia a enfermedades como el *Helminthosporium sacchari*.
- ❖ Reduce el volcamiento y la defoliación de las plantas.
- ❖ Induce un mejoramiento en la calidad de los productos (color, tamaño, acidez, resistencia al transporte, manipulación y almacenamiento, valor nutritivo, cualidades industriales, etc.).
- ❖ Participa en la permeabilidad de las membranas celulares.
- ❖ Actúa sobre el transporte de azúcares a nivel de floema.
- ❖ La deficiencia de K favorece la actividad hidrolítica de la enzima invertasa, generando una mayor cantidad de azúcares reductores.
- ❖ Participa en la síntesis de la Auxina de crecimiento y con ello sobre los tejidos meristemáticos.
- ❖ Toma parte en la formación de los ácidos orgánicos y en la neutralización de los mismos, favoreciendo un pH adecuado en la planta.
- ❖ La maduración por lo general se retarda si hay insuficiencia de K en la planta.

- ❖ Interviene en la formación de la pared celular lo que evita el encamado.
- ❖ Posibilita y favorece el desplazamiento normal de los azúcares de las hojas hacia el tallo.
- ❖ No se le ubica sin embargo como parte de algún tejido o estructura de la planta.

Como se infiere el K cumple y tiene una función vital en la planta como activador de muchas enzimas que operan numerosos procesos metabólicos vinculados con la fotosíntesis, pues está presente en los tres grupos enzimáticos más importantes: sintetasas, oxireductasas y transferasas. El K es absorbido por las raíces de la planta en forma iónica (K^+), siendo el proceso esencialmente activo donde la solución del suelo opera como fuente de aporte del nutrimento. El mecanismo de absorción que corresponde al ingreso del nutrimento en forma iónica o molecular en los espacios intercelulares (pared, membrana, citoplasma, vacuólo, mitocondria, cloroplasto, etc.), se caracteriza por su alta velocidad. El K puede llegar a las raíces a través de los mecanismos de absorción: *Flujo de Masas*, *Difusión* e *Intercepción* por parte de la raíz; se considera sin embargo, que la Difusión representa el principal mecanismo de acceso (Chaves 1999b).

Es un nutrimento muy móvil dentro de la planta, que es fácilmente redistribuido de las hojas más viejas para las más nuevas, lo que provoca que su deficiencia aparezca inicialmente en las hojas maduras mediante una clorosis amarillo-anaranjada en los bordes y puntas de las hojas. Se estima que cerca del 55% del K extraído se concentra en los tallos de la caña (Penatti 2013), quedando el resto en las hojas, vaina y raíces; como se infiere, la mayor parte del K contenido se va a la fábrica lo que justifica su reposición en el campo mediante una fertilización conveniente, al menos reitutiva.

Función y funcionabilidad

Siempre que se analice, valore y procure interpretar cabalmente el accionar y respuesta de un elemento nutricional, independientemente de su naturaleza y propiedades, se debe tener presente la imperiosa necesidad de adoptar como criterio orientador fundamental para lograr un juzgamiento acertado y correcto, lo

concerniente a la **función** que el mismo mantiene en el metabolismo de la planta y la **funcionabilidad** que desarrolle en el suelo, la planta y la atmósfera. Esto resulta de trascendental y elemental importancia, pues no todos los nutrientes tienen iguales funciones y participan de los mismos mecanismos de acción; el K es un caso particular de estos.

Como elemento esencial primario, el K es muy especial pues su actividad se diferencia significativamente de otros nutrientes esenciales y no esenciales, motivo por el cual una simple valoración de contenidos en el suelo y la planta o respuestas a su adición resultan insuficientes y poco contributivas para un diagnóstico correcto, acertado y apropiado. Esta particularidad ha conducido a que algunos minimicen y hasta consideren innecesaria su adición virtud de que sus contenidos particulares son elevados en el suelo, suficientes en la planta o que experimentalmente su aplicación no oferte una respuesta significativa y comercialmente interesante, como han insinuado algunas fuentes en el país (Salas 1998). A todas luces estas consideraciones resultan exiguas y hasta inexactas para interpretar su estado de necesidad e integración en un programa de fertilización de plantaciones comerciales competitivas de caña de azúcar; esto por cuanto como se anotó y destacó anteriormente, la función y funcionabilidad del K difiere notoriamente del N, P, Ca y S, por ejemplo, lo que obliga a realizar un diagnóstico e interpretación diferente.

Objetivos

Los objetivos principales que procura el presente documento son los siguientes:

- a) Comentar respecto a la importancia y relevancia del Potasio como nutriente esencial de la caña de azúcar.
- b) Evidenciar las particularidades que posee el elemento y que determinan una funcionabilidad diferente en el suelo y en la planta.
- c) Conocer la respuesta experimental y experiencia comercial que ha tenido la planta de caña a su adición en Costa Rica.

- d) Recomendar criterios técnicos que favorezcan y contribuyan con una mejor conceptualización e interpretación de su empleo en los programas de fertilización del cultivo.

El Potasio en los suelos cañeros costarricenses

Los suelos cultivados con caña destinada a la fabricación de azúcar en Costa Rica son por extensión geográfica, estructura, origen geológico, pedogenético y potencial productivo muy disímiles, pues se ubican taxonómicamente en 9 Ordenes y 16 Subordenes diferentes en cuanto a sus características físico-químicas, y por razonamiento lógico, también microbiológicas (Chaves y Chavarría 2017ab). Por importancia, en un área catastrada sembrada comercialmente con caña correspondiente a 65.900,15 ha, se encontró los siguientes Ordenes de suelo: 1) Inceptisol (24.337,28 ha = 36,93%), 2) Vertisol (11.627,59 ha = 17,64%), 3) Ultisol (11.625,34 ha = 17,64%), 4) Mollisol (8.616,24 ha = 13,08%), 5) Entisol (4.999,09 ha = 7,59%), 6) Andisol (4.554,47 ha = 6,91%), 7) Alfisol (112,92 ha = 0,17%), 8) Histisol (27,22 ha = 0,04%) y 9) Oxisol (no se cuantificó por ser un área muy pequeña).

En lo concerniente a Subordenes la relación taxonómica dominante encontrada fue la siguiente: 1) Ustepts (27,82%), 2) Usterts (17,64%), 3) Ustolls (13,07%), 4) Humults (9,41%), 5) Udepts (7,36%), 6) Udufts (6,57%), 7) Orthents (6,52%), 8) Udands (4,63%), 9) Ustands (2,28%), 10) Aquepts (1,75%), 11) Ustults (1,67%), 12) Aquefts (0,88%), 13) Fluvents (0,19%), 14) Ustalfs (0,17%), 15) Saprists (0,04%) y 16) Ustoxs que no fue cuantificado. De acuerdo con esa información son los suelos del Orden y Suborden Inceptisol (Ustepts), Vertisol (Usterts), Ultisol (Humults) y Mollisol (Ustolls), los que más área sembrada (67,95% $\approx$ 44.775,4 ha) con caña de azúcar reportan en Costa Rica.

El Cuadro 1 presenta el detalle de la distribución taxonómica de suelos según Orden y Suborden para cada una de las seis regiones productoras de caña destinada a la fabricación de azúcar del país (Chaves 2017c), considerando además la zona Atlántica que es sin embargo muy pequeña, lo que permite ubicar y contextualizar

por ubicación geográfica y extensión sembrada la situación y requerimientos potenciales de nutrimentos para la caña.

Como puede inferirse por origen pedogenético y composición físico-química, algunos suelos cañeros son limitantes y hasta deficitarios en cuanto a su contenido potencial de K, como acontece con los Ordenes Ultisol, Alfisol, Oxisol y posiblemente Entisol; otros suelos por el contrario, como sucede con los del Orden Mollisol, Vertisol, Histosol, Inceptisol y Andisol, poseen condiciones potencialmente adecuadas en cuanto a riqueza en sus contenidos de K total.

Fertilización potásica de la caña en Costa Rica

En plena coincidencia y concordancia con la heterogeneidad y variabilidad de los entornos productivos de caña de azúcar prevalecientes en el país, los contenidos, necesidades y respuestas comerciales e investigativas a la adición de K al suelo son versátiles y cambiantes de acuerdo con las condiciones dominantes en torno a tipo de suelo, clima, variedad cultivada, edad de cosecha, exigencia productiva y expectativa de productividad agroindustrial esperada obtener.

Como señalara Chaves (1998, 1999b) con contundencia en referencia particular a la forma en que algunos han interpretado la respuesta y necesidad del K en los programas de fertilización comercial, al expresar que *“En Costa Rica la investigación agronómica que se ha realizado con K, si bien no puede considerarse abundante y profunda, sí ha sido en término general suficiente y reveladora, lo que ha permitido conocer con un alto grado de aproximación la respuesta a su adición al suelo, la cual es bastante consistente.*

La controversia y confusión sobre su importancia y valor nutricional, se fundamenta en el hecho de que por su naturaleza de macronutriente primario, por lo general se comparan e interpretan sus efectos con respecto a los promovidos por el Nitrógeno (N) y el Fósforo (P); lo cual es equivocado si consideramos como se indicó, la función y funcionalidad del elemento en el suelo y en la planta y por ende sobre la productividad de campo.

Esta situación ha conducido a que muchos productores y técnicos cuestionen y minimicen la verdadera necesidad de las aplicaciones de K, y otros hasta se pregunten preocupados y sorprendidos, el por qué no se adiciona el elemento al suelo, esto principalmente en la región de Guanacaste, donde motivos estrictamente de criterio profesional y personal han conducido a que algunas unidades productivas importantes hayan prescindido durante muchos años de su adición, a pesar de que los resultados de la investigación agronómica han demostrado lo contrario.”

En relación a las condiciones de los suelos y ambientes productivos donde es posible encontrar con mayor frecuencia limitantes y deficiencias de K, Chaves (1998, 1999b) y Bertsch (1995), citan las siguientes:

- ❑ Suelos viejos y meteorizados como los Oxisoles y los Ultisoles, caracterizados por poseer una baja CICE.
- ❑ Suelos con texturas arenosas de baja capacidad para retener cationes intercambiables; esta condición se agudiza en zonas de alta precipitación.
- ❑ Suelos cuyo origen y material parental es naturalmente bajo en el nutrimento.
- ❑ Suelos que posean un bajo contenido de arcillas 2:1, expandibles y fijadoras de K, lo que les provee una baja capacidad restitutiva y almacenadora.
- ❑ Suelos que pese a tener altos contenidos de arcillas 2:1, la poca concentración de K total hace que su disponibilidad quede aún más reducida por la fijación que sufren.
- ❑ Suelos ácidos que presentan abundancia de Sesquióxidos de Fe y Al en su complejo de cambio.
- ❑ Suelos con presencia de altos contenidos de alofanos fijadoras de K, como acontece con los Andisoles o suelos de origen volcánico.
- ❑ Suelos con altos contenidos de Ca y Mg favorecen e inducen desbalance en sus proporciones con respecto al K, como lo revelan las relaciones Ca/K, Mg/K y Ca + Mg/K. Esta limitante se da fuerte por causa de la fijación en suelos Vertisoles (coloides 2:1), y que puede ocurrir también en Andisoles

(intersticios de la Alofana); aunque es nula en Ultisoles y Alfisoles por carecer de coloides 2:1.

- ❑ En condiciones productivas donde no se practica la quema y cultivan plantas exigentes y muy extractoras de K, como acontece con las Gramíneas entre las que está la caña de azúcar.
- ❑ En Andisoles, Ultisoles y Alfisoles puede darse pérdida de K por lixiviación.

El Cuadro 1 detalla la superficie de respuesta nacional aplicada a la fertilización potásica de la caña de azúcar, formulada a partir de resultados experimentales y experiencias comerciales de campo. Como se aprecia, la respuesta de la planta de caña no es uniforme ni consistente sino por el contrario muy variable entre regiones, debido a los tipos de suelo presentes, clima imperante y manejo tecnológico de las plantaciones en cada una de ellas. En general la respuesta nacional a la adición de K se ubica en el ámbito entre 80 y 200 kg de K_2O /ha en el caso del ciclo vegetativo de caña planta y de 80 a 250 kg/ha en soca o ciclo de retoño, lo que denota una amplitud de 120 y 170 kg de K_2O /ha, respectivamente, que resulta muy significativa. Las dosis más bajas, próximas a 80 kg de K_2O se recomiendan aplicar en suelos Vertisoles del Suborden Usterts predominantes en la región cañera de Guanacaste; las más altas superiores a 200 kg aplican en las zonas altas superiores a 1.000 msnm, donde en algunos casos se cultivan clones hawaianos en suelos predominantemente Andisoles, como es el caso de H77-4643, H61-1721, H74-1715, H77-2545, H68-1158 y H78-2313, entre otras, ávidas por naturaleza por el K. En lo concerniente a fuentes y pese a que hay respuesta positiva al K_2SO_4 es el KCl la que mejor respuesta y mayor empleo comercial tiene, recomendando su aplicación en forma fraccionada (2 aplicaciones) en relación con el N para favorecer su reconocida y demostrada acción sinérgica (Alpízar *et al* 1984; Angulo *et al* 1996, 2012b; Chaves y Arrea 1986; Chaves *et al* 1989adef, Chaves 1996, 2003, 2007, 1999ab; Solórzano *et al* 1993).

Cuadro 1.

Taxonomía de suelos dominantes en Costa Rica según Orden y Subórden, Ámbito de Respuesta Experimental a la fertilización con Potasio (K) según Región Productora de caña de azúcar.

Taxonomía de suelo según ^{1/}		Área (ha) sembrada según región productora							Total nacional	
Orden	Suborden	Guanacaste	Pacífico Central	Valle Central	Zona Norte	Zona Sur	Turrialba Juan Viñas	Zona Atlántica	ha	%
Alfisol	Ustalfs	112,92							112,92	0,17
Andisol	Udands			179,10	218,02		2.657,61		3.054,73	4,63
	Ustands			1.496,32	3,42				1.499,74	2,28
Entisol	Aquepts	327,08	209,30		40,83				577,21	0,88
	Fluvents					126,17			126,17	0,19
	Orthents	2.925,93	686,95	191,60	491,23				4.295,71	6,52
Histosol	Saprists				27,22				27,22	0,04
Inceptisol	Aquepts	155,11			996,48				1.151,59	1,75
	Udepts			17,38	3.296,70		1.537,46	2,00	4.853,54	7,36
	Ustepts	12.731,28	4.489,96	1.026,28		84,63			18.332,15	27,82
Mollisol	Ustolls	8.616,24							8.616,24	13,07
Oxisol	Ustoxs					???			???	
Ultisol	Humults		53,68	836,84	254,76	4.301,05	753,05		6.199,38	9,41
	Udults			24,00	4.304,31				4.328,31	6,57
	Ustults	463,11	237,33	397,21					1.097,65	1,67
Vertisol	Usterts	11.474,39		153,20					11.627,59	17,64
Total (ha)		36.806,06	5.677,22	4.321,93	9.632,97	4.511,85	4.948,12	2,00	65.900,15	
%		55,85	8,61	6,56	14,62	6,85	7,51	0,003		100
Nº Orden		6	3	5	5	4	3	1	9	
Nº Subórden		8	5	9	9	4	3	1	16	
Ámbito de respuesta según ciclo vegetativo	Planta	80 - 100	80 - 100	120 - 160	130 - 180	130 - 180	120 - 160 160 - 200 *	--	80 - 200	
	Soca	80 - 140	80 - 140	150 - 200	130 - 160	150 - 180	150 - 200 160 - 250 *	--	80 - 250	
Clones sembrados ^{2/}		CP 72-2086 B 82-333 NA 85-1602	CP 72-2086 B 82-333 CP 72-1210	RB 86-7515 SP 78-4764 Mex 79-431	PR 80-2038 B 77-95 LAICA01-604	LAICA04-825 Q 96 LAICA05-805	B 76-259 H 77-4643 B 77-95	Q 96	CP 72-2086 B 82-333 NA 85-1602	

Nota: Considera aunque no cuantifica el Orden OXISOL identificado en las localidades cañeras de La Ceniza de Pérez Zeledón y Guayacán de Buenos Aires, Zona Sur. No incluye los suelos clasificados como URBANOS (155,92 ha).

^{1/} Soil Survey Staff del United States Department of Agriculture (USDA 1999, 2014).

^{2/} Son los tres de mayor área (ha) cultivada durante el año 2016.

* Específica para regiones altas superiores a 1.000 msnm.

Las Vinazas generadas a partir de la industria alcoholera aplicadas como fertirrigación han aportado cantidades interesantes (3,2-7,0 kg K₂O/ha) de K que se

complementan con las fuentes granulares. La vía foliar no ha sido productivamente efectiva, tecnológicamente viable y comercialmente factible, requiriendo aún más investigación y validación de campo para valorar su posibilidad real como opción técnica (Alfaro 1999; Orlando 1985; Chaves 1985, 1999b; Penatti 2013; LAICA-DIECA 2013, 2015, 2016, 2017).

En consideración de que el K mantiene una amplia relación de asociación e interacción con otros iones importantes en el suelo, principalmente con el Calcio (Ca) y el Magnesio (Mg), la presencia de sinergismos y antagonismos resulta de especial interés y obligación tenerla presente al momento de diagnosticar, interpretar y formular programas de fertilización realistas. Entre esos elementos se establecen relaciones importantes, como son: Ca/K, Ca/Mg, , K/Mg, Mg/K y Ca + Mg/K (Bertsch 2003, 1995; Chaves 1988, 2012a; Chaves *et al* 1991; Dibb y Thompson 1985; Orlando 1985; Penatti 2013), las cuales como se anotó pueden ser determinantes en el éxito productivo de una plantación de caña de azúcar; motivo por el cual, como anotara Chaves (1988, 1991), *“...en la correcta valoración de un suelo no basta conocer e interpretar apenas las especies y las concentraciones particulares de un determinado nutrimento, sino que se debe ser más amplio y procurar relacionar los balances que entre ellos existan; teniendo la certeza previa como principio básico, de que no hay insuficiencia individual de ninguno de los nutrimentos, pues de nada valdría una interpretación de la interacción si los contenidos son bajos.”*

Es común que al interpretar la condición química de un suelo con objetivos nutricionales en referencia específica al K, se considere el contenido particular de las Bases (Ca, Mg, K) pero no sus relaciones, lo cual puede conducir a conclusiones erróneas virtud de que en términos de proporcionalidad el criterio varía y una concentración parcial alta se torna desbalanceada e insuficiente al integrarla y vincularla. Es por esta razón que Chaves (1999b, 2012a, 1988, 1991) al integrar el criterio de balances, proporciones y equilibrios en su interpretación, asegura, que ***“las relaciones, y no exclusivamente, las concentraciones absolutas de las especies iónicas del suelo influyen marcadamente en el equilibrio dinámico y***

en la interacción suelo-planta, reflejándose en la absorción, composición mineral y producción de las plantas”. En localidades con presencia de condiciones eutróficas en el suelo como acontece en la región cañera de Guanacaste y parte del Pacífico Central, esta condición resulta común, lo que debe conducir a separar la valoración interpretativa de contenidos particulares de las especies iónicas de la vinculada con balances, principalmente catiónicos; motivo por el cual resulta prudente y conveniente incorporar una cantidad base suficiente (80 kg de K_2O/ha) que equilibre las proporciones catiónicas cuando el Ca y el Mg son altos (Chaves *et al* 1999; Solórzano *et al* 1993).

La experiencia nacional reporta de manera genérica un grado de respuesta diferencial con carácter preferencial y positiva a la aplicación de K en el suelo en las regiones del Pacífico Central, Turrialba-Juan Viñas y Zona Sur, y de naturaleza circunstancial y relativa en Guanacaste, Valle Central y la Zona Norte (Chaves 1996, 1999b). **De acuerdo con los entornos productivos, no se justifica la no incorporación y aplicación de K en las regiones y localidades productoras de caña de azúcar de Costa Rica, al menos en una cantidad base suficiente;** esto pese a que es poco frecuente encontrar suelos con bajos contenidos del nutrimento, como reportaran Méndez y Bertsch (2012), apenas un 28% de las muestras analizadas presentan valores por debajo de su nivel crítico ($<0,2 \text{ cmol}(+)/l$) y un 10% por debajo de $0,1 \text{ cmol}(+)/l$.

Estas razones ratifican el principio universal de que **fertilizar y nutrir una plantación comercial de caña de azúcar son conceptos por fondo y forma muy diferentes que deben necesariamente complementarse y optimizarse en procura de potenciar y maximizar sus efectos**, lo cual justifica la fertilización completa, integral y balanceada y no apenas parcial, donde solo se adicionan N-P-K, como por lo general ocurre en el mejor de los casos, sino apenas N-P. Es así como puede con un alto costo asociado, fertilizarse pero no necesariamente nutrirse una plantación comercial de caña, en consideración de no ser integral en diversidad de elementos, oportuna en tiempo y en cantidades suficientes según los requerimientos particulares del lugar, el suelo y la variedad sembrada. Esta

situación resulta casi generalizada en el cultivo de la caña de azúcar, no solo en Costa Rica, sino también mundialmente.

En términos de calidad industrial se ha establecido una correlación y vinculación directa entre la insuficiencia de K en la planta con los bajos índices de productividad agroindustrial, expresadas en una reducción de la cantidad de caña y azúcar obtenidas y recuperadas en el campo, al disminuir significativamente la concentración de sacarosa en los tallos. La fertilización con dosis altas de K declarado como “*consumo de lujo*”, influye negativamente sobre el contenido de sacarosa del jugo, promoviendo incrementos lineales en el contenido de cenizas que afectan y disminuyen el Pol % en caña (correlación lineal inversa). Los altos contenidos de ceniza en el jugo deterioran la calidad del azúcar, lo que es influenciado por el K al ser su principal constituyente. Las cenizas se convierten en puntos de formación de cristales durante la cristalización del azúcar en el proceso fabril, los cuales inducen la formación de azúcar de baja calidad que no cumple con las normas del mercado (color, tamaño y forma del cristal) establecidas al respecto. La actividad enzimática de las Invertasas está también asociada con el K (Chaves 1998, 1999b).

Conclusiones

Sobre el tema abordado puede concluirse lo siguiente:

- 1) El K es el nutrimento esencial de mayor extracción y consumo por parte de la caña de azúcar, lo que demuestra y ratifica su importancia en el manejo de la nutrición del cultivo.
- 2) Pese a que la importancia y necesidad del elemento es incuestionable y está suficientemente comprobada, la respuesta productiva a su adición es por función y funcionabilidad diferente y se distancia en algún grado respecto a la que muestran otros nutrimentos, al no manifestarse necesariamente en incrementos significativos de productividad agroindustrial aunque si en la calidad de la materia prima. La mejor demostración de su importancia es dejar de aplicarlo, pues sus consecuencias agroindustriales son prontas e impactantes.

- 3) Los suelos del Orden y Suborden específico Inceptisol (Ustepts), Vertisol (Usterts), Ultisol (Humults), Mollisol (Ustolls) y Entisol (Orthents), son los que más área sembrada (49.071,1 ha $\approx$ 74,48%) con caña de azúcar reportan en Costa Rica, lo que denota una condición edáfica y nutricional diferencial que trasciende en cuanto a la disponibilidad de K para la planta.
- 4) Los Ordenes y Subordenes Ultisol (Humults, Udults, Ustults), Oxisol (Ustoxs), Alfisol (Ustalfs) y en algún grado Entisol (Aquents, Fluvents, Orthents), pueden mantener contenidos insuficientes y/o desequilibrados de K para generar y acompañar índices de productividad agroindustrial altos, satisfactorios y sostenibles, lo que explica y justifica su incorporación en los programas de fertilización y adición del nutrimento en dosis suficientes.
- 5) La superficie de respuesta histórica generada por la investigación y la experiencia comercial nacional, revela un ámbito amplio y diferencial para ciclo planta y retoño que va desde 80 hasta 250 kg de K_2O /ha; siendo bajo en suelos del Orden Vertisol y alto en Andisoles de pisos altitudinales elevados (>1.000 msnm).
- 6) Ciclos vegetativos mayores a 12 meses (16-24 meses) como los existentes en las zonas productoras de altura (> 1.000 msnm) donde se cultivan mayoritariamente clones de origen hawaiano (sigla H) y dominan suelos del Orden Andisol, requieren fortalecer e incrementar las dosis de nutrimentos, en particular N y K.
- 7) La relación de proporcionalidad y balance catiónico entre el K respecto al Ca y el Mg debe ser tomada en consideración en la definición y ejecución de un programa de fertilización comercial del cultivo, por cuanto es determinante en el resultado productivo final. Suelos del Orden Vertisol (Usterts) y Andisol (Udands, Ustands) pueden acarrear problemas por causa de fijación del K y desbalance respecto a los otros cationes.
- 8) El K mantiene una excelente y determinante relación sinérgica y vinculación de articulación y promoción con el N, lo que obliga a procurar su balance. La actividad del N está directamente vinculada con el K. Fraccionar el K es

recomendable lo que evita pérdidas por lixiviación y habilita integrarlo con el N.

- 9) Como fuentes básicas para su adición están el KCl como preferencial y opcionalmente el K_2SO_4 , siendo la Vinaza residual producto de la destilación alcohólica también una opción importante por su contenido de K. La vía foliar no ha demostrado aún con la contundencia debida, la eficiencia productiva necesaria, la viabilidad tecnológica requerida y la factibilidad comercial necesarias ser una opción comercial interesante para su implementación técnica, requiriendo por esto aún de más investigación y validación de campo.
- 10) La participación e influencia del K está vinculada con la productividad de caña, azúcar y directamente con los jugos, pudiendo su exceso (consumo de lujo) o insuficiencia afectar y disminuir la calidad de la materia prima, influenciando los contenidos de sacarosa (Pol) y fibra industrial de la caña.
- 11) No resulta sencillo adoptar criterio certero para definir necesidades y recomendar cantidades apropiadas de K en un programa de fertilización comercial, en consideración de que su nivel crítico en el suelo es alto lo que se traslada y traduce en dosis aún mínimas muy altas de limitada viabilidad económica.

Literatura citada

- 1) Alfaro, R. 1999. **Evaluación de la Vinaza como Fertilizante Potásico en la Caña de Azúcar y su Efecto sobre las Propiedades Químicas de un Inceptisol de Atenas, Alajuela.** 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. Volumen 3. p: 77.
- 2) Alfaro, R.; Chaves, M. 1999. **Observaciones sobre la capacidad de extracción y agotamiento nutricional de un Ultisol cultivado con caña de azúcar.** Congreso Nacional Agronómico y de Recursos Naturales, 11, Congreso Nacional de Entomología, 5, Congreso Nacional de Fitopatología, 4, Congreso

- Nacional de Suelos, 3, Congreso Nacional de Extensión Agrícola y Forestal, 1, San José, Costa Rica, 1999. Memoria: *Recursos Naturales y Producción Animal*. San José, Colegio de Ingenieros Agrónomos: EUNED, julio. Volumen III. p: 36.
- 3) Alpízar Monge, D.; López, C. A.; Chaves Solera, M. A. 1984. **Respuesta de la Caña de Azúcar (*Saccharum officinarum*) a Dosis de Potasio en un *Oxisdysandrapt* en Grecia de Alajuela.** Congreso Agronómico Nacional, 6, San José, Costa Rica, 1984. Resúmenes. San José, Colegio de Ingenieros Agrónomos, Julio. Volumen 1. p: 53-54.
 - 4) Alpízar Quesada, R. 1976. **Fertilidad de suelos cañeros costarricenses.** Tesis Ing. Agr. San José, Costa Rica, Facultad de Agronomía. 120 p.
 - 5) Angulo, A.; Chaves, M.; Guzmán, G. 1996. **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, San José, Costa Rica, 1996. Memoria: *Suelos*. San José, Colegio de Ingenieros Agrónomos, Asociación Costarricense de Fitopatología y Asociación Costarricense de Suelos: EUNED, EUNA. Volumen 3. p: 156.
 - 6) Bertsch Hernández, F. 2003. **Absorción de nutrientes por los cultivos.** 1ed. San José, Costa Rica: Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo (ACCS). 307 p.
 - 7) Bertsch Hernández, F. 1995. **La Fertilidad de los Suelos y su Manejo.** San José, Costa Rica: Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo (ACCS). 157 p.
 - 8) Chaves Solera, M.A.; Chavarría Soto, E. 2017a. **Aproximación taxonómica y territorial de los suelos sembrados con caña de azúcar en Costa Rica. II. SUBORDENES DE SUELO.** San José, Costa Rica. LAICA-DIECA, junio.
 - 9) Chaves Solera, M.A.; Chavarría Soto, E. 2017b. **Aproximación taxonómica y territorial de los suelos sembrados con caña de azúcar en Costa Rica. I. ORDENES DE SUELO.** San José, Costa Rica. LAICA-DIECA, mayo. 55 p.

- 10) Chaves Solera, M.A. 2017c. **¿Dónde se produce territorialmente la caña con que se fabrica el azúcar en Costa Rica?** Revista *“Entre Cañeros”*, N° 8, San José, Costa Rica, marzo. p:6-26.
- 11) Chaves Solera, M.; Bermúdez Acuña, L.; Mendez Pérez, D. 2016. **Análisis de resultados agroindustriales finales de la zafra 2015-2016.** Boletín Informativo *“Conexión”*, Número 10, Enero-Diciembre 2016, LAICA, San José, Costa Rica. 40 p.
- 12) 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.
- 13) 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.
- 14) 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.
- 15) 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.
- 16) 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.
- 17) Chaves Solera, M. 1999b. **El Nitrógeno, Fósforo y Potasio en la caña de azúcar.** San José, Costa Rica. LAICA-DIECA, setiembre. 130 p.

- 18) 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.
- 19) Chaves Solera, M. 1998. **El Potasio y la Caña de Azúcar.** Congreso de ATACORI “Álvaro Chavarría P.”, 12, Carrillo, Guanacaste, Costa Rica, 1998. Memoria. San José, ATACORI. p: 90-102.
- 20) 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.
- 21) 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.
- 22) 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.
- 23) Chaves S., M. A.; Salazar, J. 1989. **Efecto de seis dosis crecientes de potasio 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: 74-75.
- 24) Chaves, M. A.; Ortuño, F.; Guzmán, G. 1989a. **Efecto de enmiendas, fuentes y dosis de potasio sobre los rendimientos agroindustriales de la variedad de caña de azúcar “H 50-7209”, en Platanillo de Turrialba. Promedio de dos cosechas.** Congreso Agronómico Nacional, 8, Cartago, Costa Rica, 1989.

- Resúmenes. San José, Colegio de Ingenieros Agrónomos, Julio. Volumen 1. p: 84-85.
- 25) Chaves S., M.A.; Salazar, J.; Guzmán, G.; Madriz, T. 1989b. **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.
 - 26) 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.
 - 27) 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.
 - 28) 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. p: 110-112.
 - 29) Chaves Solera, M. A. 1985. **Las Vinazas en la Fertilización de la Caña de Azúcar.** El Agricultor Costarricense 43(9-10): 174-177.
 - 30) LAICA-DIECA. 2017. **Informe de Resultados. Programa de Agronomía. Año 2016.** Grecia, Costa Rica. LAICA-DIECA, marzo. 95 p.
 - 31) 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.
 - 32) 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.

- 33) 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.
- 34) Dobb, D.W.; Thompson JR, WR. 1985. **Interaction of Potassium with Other Nutrients**. En: Symposium International of Potassium in Agriculture. Atlanta, Georgia, EUA, 1985. Proceeding. Wisconsin-USA. American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, Soil Science Society of America. p: 515-533.
- 35) Méndez, J.C.; Bertsch, F. 2012. **Guía para la interpretación de la fertilidad de los suelos de Costa Rica**. 1ª ed. San José, Costa Rica: Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo (ACCS). 108 p.
- 36) Orlando Filho, J. 1985. **Potassium Nutrition of Sugarcane**. En: Symposium International of Potassium in Agriculture. Atlanta, Georgia, EUA, 1985. Proceeding. Wisconsin-USA. American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, Soil Science Society of America. p: 1045-1062.
- 37) Penatti, C.P. 2013. **Adubação da Cana-de-Açúcar: 30 anos de experiência**. Itui, São Paulo, Brasil. Ottoni editora. 347 p.
- 38) Salas, R. 1998. **Avances en la Fertilización de la Caña de Azúcar en la Zona de Guanacaste**. Seminario Agrícola Internacional, 1, Heredia, Costa Rica. Memoria. San José, FERTICA, PRO-CHILE. 22-23 abril.
- 39) Soil Survey Staff. 1999. **Soil Taxonomy: A Basic System of Soil Classification for Making and Interpreting Soil Surveys**. Segunda Edition. Natural Resources Conservation Service. U.S. Department of Agriculture Handbook 436.
- 40) Solórzano V., N.; Molina V., J.; Chaves S., M. A. 1993. **Efecto de cinco dosis crecientes de potasio sobre los rendimientos agroindustriales de dos variedades comerciales de caña de azúcar en la localidad de Esparza de Puntarenas. Promedio de dos cosechas**. Participación de DIECA en el IX Congreso Nacional Agronómico y de Recursos Naturales. San José, Costa Rica. DIECA. Octubre. p: 143.

- 41) USDA (Departamento de Agricultura de los Estados Unidos). 2014. **Claves para la taxonomía de suelos** (en línea). 12 ed. Washington, D. C., Estados Unidos, NRCS. Consultado 10 oct. 2015. Disponible en: http://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/nrcs142p2_051546.pdf.