

Comparativo de la fertilización aplicada a las plantaciones comerciales de caña de azúcar en Costa Rica

Marco Chaves Solera¹

Introducción

Con la práctica de la fertilización se procura satisfacer las necesidades nutricionales que una planta pueda tener, razón por la cual de hacerse bien, constituye un factor determinante e incuestionable para el incremento y estabilidad de la producción. Acontece sin embargo, que en la ejecución de la misma prevalecen muchas veces factores que hacen que su efectividad y expectativa potencial sea minimizada.

En el caso particular del cultivo de la caña de azúcar, su naturaleza extensiva y dispersión por todo el territorio nacional generan una amplia heterogeneidad de condiciones de cultivo que deben ser atendidas y preferiblemente satisfechas en procura de ese fin; dificultando esta realidad, el poder contar con criterios genéricos de manejo y fertilización. Una revisión regional en este sentido permite comprobar, por ejemplo, que a nivel de región centroamericana, las zonas cañeras se ubican de manera casi dominante en la Vertiente Pacífica, excepto Honduras por razones obvias, y abajo de los 400 msnm; lo cual puede inclusive generalizarse al resto del área productora de caña de azúcar en todo el continente americano.

En Costa Rica acontece algo muy diferente pues la variabilidad y la heterogeneidad de los entornos productivos son casi la norma predominante, lo que sumado a los tradicionales juicios y preconceptos personales de muchos agricultores, hacen que lograr encontrar la deseada estabilidad nutricional del cultivo con buen discernimiento ajustado a criterios técnicos, resulta un reto y un desafío permanente.

El presente estudio tiene como objetivo central conocer con detalle y especificidad respecto a cuál es la realidad que prevalece actualmente a nivel de campo en torno al uso de fertilizantes y nutrición de las plantaciones comerciales de caña de azúcar en el país. Se presume como hipótesis de trabajo, que la variabilidad es máxima y la desviación entre lo teóricamente requerido y lo realmente adicionado es amplia, generando con ello una condición de insuficiencia y presunta desnutrición en muchas plantaciones comerciales.

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 el *V Congreso Tecnológico DIECA 2012*, organizado por el *Departamento de Investigación y Extensión de la Caña de Azúcar (DIECA)*, celebrado el 5, 6 y 7 de Setiembre del 2012 en COOPEVICTORIA R.L., en Grecia, Alajuela, Costa Rica.

Entorno Productivo

La producción de caña de azúcar se desarrolla en Costa Rica bajo condiciones muy disímiles por lo cual podría juiciosamente concebirse como “una agroindustria de ambientes productivos particulares y excepcionales”, lo que establece un patrón de manejo e interpretación muy especial, donde no caben las generalizaciones ni los mal llamados “paquetes tecnológicos ampliados”. Esta realidad ha obligado a través de la historia a buscar un concepto pragmático de “tecnologías locales” en todos los sentidos, aún en algo tan vasto como es la variedad de caña idónea para cultivar, pues las generalizaciones virtuales de esa elevada variabilidad no han sido productiva y económicamente favorables; los antecedentes así lo dictan.

La variabilidad del entorno productivo cañero costarricense como se aprecia e infiere del Cuadro N° 1 es evidente y concluyente en cualquiera de las variables en que se valore e intérprete, pues hay poca constancia en factores determinantes como el clima, la altitud, los suelos y su fertilidad potencial, la topografía, el relieve expresado como pendiente con variaciones que van desde 0 hasta 35% y aún más, el manejo y algo muy importante, la estructura de tenencia de la tierra de las explotaciones comerciales.

CUADRO N° 1.

Caracterización Edafoclimática de las Regiones Productoras de Caña de Azúcar de Costa Rica. 2012

INDICADOR	REGIONES PRODUCTORAS						PROMEDIO NACIONAL
	GUANACASTE	PACIFICO CENTRAL	VALLE CENTRAL	SAN CARLOS LOS CHILES	TURRIALBA JUAN VIÑAS	PEREZ ZELEDON BUENOS AIRES	
Altitud Plantaciones (msnm)	5 - 160	0 - 350	600 - 1400	40 - 680	480 - 1.500	350 - 750	0 - 1500
Ordenes de Suelo Predominantes	Inceptisol Vertisol Mollisol Entisol	Entisol Inceptisol Alfisol	Inceptisol Andisol Alfisol Ultisol	Inceptisol Ultisol Andisol	Ultisol Andisol Inceptisol	Ultisol Inceptisol	Inceptisol Ultisol Vertisol Andisol
Precipitación Anual (mm)	1.100 - 2.600 (1.700)	1.100 - 2.900 (1.800)	1.450 - 3.900 (2.900)	1.700 - 4.300 (3.200)	2.500 - 3.300 (2.900)	2.400 - 4.300 (3.400)	1.100 - 4.300 (2.700)
Temperatura (°C)							
Máxima	31-34 (32,7)	30-35 (31,8)	27-32 (29,3)	27-33 (30,0)	23-30 (26,5)	26-33 (29,5)	23-35 (29,0)
Media	26-28 (27,5)	25-29 (27)	20-27 (23,3)	23-27 (24,8)	18-23 (21,2)	22-27 (24,5)	18-27 (22,5)
Minima	21-24 (22,3)	19-24 (21,6)	13-20 (16,5)	18-21 (19,5)	14-19 (16,5)	17-21 (19,2)	13-24 (18,5)
Amplitud	10 (10,4)	11 (10,2)	12-14 (12,8)	9-12 (10,5)	9-11 (10,0)	9-12 (10,5)	10-11 (10,5)
Brillo Solar (Horas y Décimos)	4,9 - 10,2 (7,5)	3,5 - 9,1 (6,3)	4,8 - 9,4 (6,2)	1,4 - 6,9 (3,9)	2,2 - 5,2 (4,2)	3,5 - 7,8 (5,2)	1,4 - 10,2 (5,8)
Radiación Solar (MJ/m ²)	14 - 23,2 (18,6)	13,5 - 20 (16,7)	18	16	10,6 - 19,1 (16,2)	-	10,6 - 23,2 (16,9)
Uso de Riego	Importante	Importante	Ocasional	No	No	En Semilleros	Importante
Relieve	Plano/Ligeramente	Plano/Moderada	Plano/Ondulado	Plano/Ondulado	Ondulado	Plano/Ondulado	Ondulado
Grado de Pendiente (%)	U- 8	U- 12	U- 30	U- 25	U- 35	U- 20	U- 35
Riesgo de Inundación	Medio-Alto	Alto	Bajo	Bajo	Bajo	Nulo	Medio
Grado de Mecanización	Alto	Alto	Medio	Alto	Medio	Medio	Alto
Area Sembrada (has)	30.100	5.700	4.450	7.900	4.700	4.050	57.500
N° Ingenios Activos	3	1	4	2	2	1	13
N° Entregadores	2.971	97	1.252	762	583	2.382	8.047
Ciclo Vegetativo (meses)	12	12	12-16	12	12 - 24	12	12 - 24
Maduración	Buena	Buena	Muy Buena	Deficiente	Muy Buena	Excelente	Buena
Rendimiento Industrial* Promedio kg azuc/tm	108,84	99,36	110,26	96,94	113,28	128,85	108,57
Caña (tm)* Procesada	2.112.212 (55,2)	337.895 (8,8)	372.460 (9,7)	445.446 (11,6)	261.096 (6,8)	294.007 (7,6)	3.823.114 (100)
Azúcar (tm)* Fabricado	229.902 (55,3)	33.575 (8,0)	49.956 (9,8)	43.183 (10,4)	29.576 (7,1)	37.883 (9,1)	415.075 (100)
Relación* Caña/Azúcar	9,2	10,1	9,1	10,3	8,8	7,8	9,2

* Valores correspondientes a la Zafra 2011-2012 en 96° Pol

Una revisión detallada por variable evidencia que la altitud de las seis regiones productoras de caña destinadas a la fabricación de azúcar, no de dulce o panela, fluctúa desde los 0 hasta aproximadamente los 1.500 msnm, lo que introduce un factor importante de diferenciación para fines de nutrición vegetal, como es la variedad de caña cultivada. Los potenciales productivos y por ende los requerimientos nutricionales son diferentes, siendo la variedad uno de los determinantes principales de la respuesta potencial a los nutrientes que se adicionen al suelo, como está ampliamente demostrado y documentado. El Cuadro N° 2 cita las tres principales variedades cultivadas según región y su representación (%) dentro del área total sembrada en las mismas.

CUADRO N° 2.						
Variedades de caña sembradas en Costa Rica por región productora. Periodo 2003-2010.						
Región	Variedades sembradas según año y porcentaje de siembra					
	2003	%	2007	%	2010	%
Guanacaste	CP72-2086	21,71	NA56-42	31,11	NA56-42	22,95
	NA56-42	19,67	CP72-2086	17,59	CP72-2086	18,77
	B80-689	13,66	B80-689	15,03	CP72-1210	12,71
%		55,04		63,73		54,43
Pacífico Central	CP72-1210	41,00	CP72-1210	56,51	CP72-1210	45,07
	SP70-1284	20,12	SP81-3250	7,88	B82-333	16,74
	B74-132	8,96	CP80-1743	7,27	SP81-3250	16,45
%		70,08		71,66		78,26
Valle Central	RB73-9735	8,68	Q96	17,28	Mex79-431	28,24
	Q96	7,78	RB73-9735	16,87	Q96	15,58
	SP71-5574	3,42	SP79-2233	11,44	RB73-9735	10,08
%		19,88		45,59		53,90
Zona Norte	PINDAR	23,43	Q96	15,75	SP79-2233	15,32
	Q96	20,74	SP79-2233	14,12	Q132	12,93
	SABORIANA	20,27	SABORIANA	13,89	SABORIANA	10,84
%		64,44		43,76		39,09
Zona Atlántica	H77-4643	23,38	H77-4643	30,29	H77-4643	39,56
	B77-95	15,83	B77-95	21,82	B76-259	23,96
	B76-259	14,26	B76-259	21,13	B77-95	21,63
%		53,47		73,24		85,15
Zona Sur	SP71-5574	95,68	SP71-5574	96,89	Q96	35,60
	CP87-1248	3,16	CP87-1248	1,56	SP71-5574	28,52
	Q96	0,91	Q96	1,47	B89-1351	10,92
%		99,75		99,92		75,04

FUENTE: CHAVES (2012).

Las características, capacidades y necesidades particulares de las variedades de caña en lo concerniente al tema nutricional son muy diferentes, como se ha demostrado con la exhaustiva investigación y experiencias productivas disponibles en el país. Las mismas van referidas y son afines a elementos como: a) capacidad de adaptación marcada en alto grado por su grado de rusticidad a tolerar condiciones extremas de cultivo; b) extracción de nutrimentos del suelo, dada por la capacidad exploratoria de su sistema radicular lo que tiene un alto componente genético; c) potencial productivo del clon determinado en alto grado por su condición genética particular; d) expectativa productiva esperada por parte del agricultor y, e) manejo agronómico que el productor de caña le proporcione a la plantación expresado específicamente en lo relativo al tema de la fertilización y los elementos directamente vinculados con ella: fuentes, cantidades, forma, momento, entre otros. La capacidad extractiva de la caña de azúcar es elevada, al punto que puede llegar a agotar un suelo, como lo determinarían ALFARO y CHAVES (1999) y CHAVES (1986b).

No hay la menor duda de que la variedad de caña de azúcar que se siembre es determinante en la respuesta a la adición de nutrimentos esenciales al suelo y vía foliar, motivo por el cual, el empleo y la siembra de diferentes variedades en cada zona productiva (Cuadro N° 2) no es casualidad ni tampoco asunto de oportunidad. Por ejemplo, en las zonas altas (> 1.000 msnm) se utilizan predominantemente clones de origen hawaiano cuyo ciclo vegetativo va de 18 a 24 meses, lo que requiere la adición de altas dosis de nutrimentos en relación a las zonas medias y bajas, muy en especial Nitrógeno y Potasio. La diferenciación en la respuesta a la adición de fertilizantes está bien documentada como lo demuestran las publicaciones de CHAVES (1997, 1998, 1999d, 2002b, 2010) y CHAVES y ALVARADO (1994).

Otras variables del entorno productivo reveladas en el Cuadro N° 1 para cada región productora de caña son también determinantes, como es el caso de los elementos del clima expresados en sus principales indicadores (precipitación, temperaturas, luz, humedad, viento), donde las variaciones y fluctuaciones locales medidas entre sí y valoradas en el tiempo son amplias y por tanto muy influyentes en el comportamiento del cultivo, lo que se manifiesta en las grandes diferencias de los índices productivos agroindustriales obtenidos en cada periodo, como lo demostraron BERMÚDEZ y CHAVES (2011, 2012) para las últimas dos zafras.

Los comportamientos del clima son altamente disimiles al ubicarlos específicamente entre regiones productoras de caña, como lo demuestra el Cuadro N° 1, al indicar promedios nacionales de variación en lluvia que van desde los 1.100 a los 4.300 mm para una media de 2.700 mm. Igual acontece con temperaturas al tener variaciones de la máxima de 23 a 35 °C para una media de 29°C; las mínimas fluctúan entre 13 y 24 °C para una media de

18,5 °C; las temperaturas promedio por su parte se mueven entre los 18 y los 27 °C con 22,5 °C como promedio nacional; es importante anotar en esta variable, que la variación máxima-mínima fluctúa entre 10-11 °C para una media de 10,5 °C, lo que tiene especial relevancia para las fases de germinación, ahijamiento, retoñamiento, crecimiento y maduración de la planta de caña. El componente luz es igualmente variable y relativamente poco estable entre localidades productoras, variando el brillo solar entre 1,4 a 10,2 horas para una media de 5,8 horas; la misma variable expresada como radiación solar indica valores extremos de 10,6 a 23,2 Mj/m² para un índice promedio de 16,9 Mj/m². No hay la menor duda entonces de la relevancia del componente clima en la eficiencia y efectividad de los fertilizantes cuando son adicionados al suelo o la planta. La diferencia de las Vertientes Atlántica y Pacífica es marcada (CHAVES y ALVARADO 1994).

El factor suelo como incuestionable y trascendente determinante de la nutrición de la planta de caña también muestra variaciones sustanciales, que podrían calificarse con criterio técnico bien fundamentado como extremas, como se esperaría en principio en términos productivos agroindustriales de sembrar caña en un suelo del orden taxonómico clasificado y tipificado como Mollisol (Guanacaste), respecto a otro del orden Ultisol (Zona Sur), pues las características físicas, químicas y microbiológicas son muy diferentes y por ello categóricas potencialmente en la resultante productiva. Como se observa en el Cuadro N° 1, se identifican en el área sembrada con caña de azúcar en el país, siete órdenes dominantes de suelo, clasificados taxonómicamente según importancia y criterio USDA como: *Inceptisol*, *Ultisol*, *Vertisol*, *Andisol*, *Entisol*, *Mollisol* y *Alfisol*.

No queda la menor duda en reconocer y afirmar de forma contundente y categórica que las diferencias intrínsecas propias y naturales de cada una de las regiones productoras de caña en Costa Rica, marcan diferencia y ejercen influencia significativa sobre los índices de producción, productividad agroindustrial y rentabilidad final de la actividad, a lo cual se suma la calidad e intensidad del manejo particular que los agricultores le presten a sus plantaciones comerciales expresado como inversión tecnológica.

El nivel de competitividad nacional es por tanto muy variable y diferente entre regiones, zonas, localidades y hasta unidades productivas particulares, lo cual se ve favorecido y maximizado por la particular estructura de tenencia de la tierra existente en Costa Rica, dominada básicamente por pequeños productores de caña. Ese segmento particular con unidades productivas menores a las 6 has y entregas inferiores a 500 TM, representó en las dos últimas zafras cerca del 93% de las entregas nacionales de materia prima realizadas por el sector de Productores Independientes. Ese segmento participa del 34% de la caña procesada a partir de la cual se fabrica el 34,9% del azúcar nacional; el resto corresponde a Ingenios y No Independientes (BERMÚDEZ y CHAVES 2011, 2012).

Producción Agroindustrial

El Cuadro N° 3 detalla para fines de ubicación las particulares de producción agroindustrial correspondientes a la última zafra 2011-2012 para cada una de las seis regiones azucareras oficiales, notando las grandes diferencias que prevalecen entre ellas y a lo que ya se ha hecho referencia anteriormente. En términos particulares y específicos Guanacaste es incuestionablemente la región más importante al procesar el 52,3% de la materia prima a partir de la cual se fabricó el 55,4% del azúcar nacional; le siguieron en importancia la Zona Norte (11,6%), el Valle Central (9,9%), la Zona Sur (9,1%), el Pacífico Central (8,1%) y la Zona cañera de Turrialba-Juan Viñas (7,1%). La producción de caña tiene una alta correlación con el área sembrada y cosechada (son diferentes). El Rendimiento Industrial expresado como la Concentración de Sacarosa acumulada y recuperada de los tallos (kg/TM caña) es también muy variable, siendo como promedio regional la Zona Sur la mejor al mostrar concentraciones de 128,85 kg Sacarosa 96°/TM; en tanto que la Zona Norte obtuvo la más baja con apenas 96,94 kg/TM promedio. Las diferencias son altas y determinan la riqueza de la materia prima producida y procesada.

CUADRO N° 3.										
COSTA RICA: Resultados agroindustriales según región productora. Zafra 2011-2012.										
Región	Área Sembrada		Caña		Azúcar *		Rendimiento Industrial (kg/TM) *	Relación Caña/Azúcar	N° de	
	has	%	TM	%	TM	%			Entre gadores	Ingenios
Guanacaste	30.100	52,3	2.112.212	55,2	229.901	55,4	108,84	9,21	2.539	3
Zona Norte	8.100	14,1	445.446	11,6	43.182	10,4	96,94	10,32	716	2
Valle Central	4.400	7,6	372.460	9,7	40.955	9,9	110,26	9,09	1.209	4
Zona Sur	4.600	8,0	294.007	7,7	37.883	9,1	128,85	7,76	2.394	1
Pacífico Central	5.700	9,9	337.895	8,8	33.575	8,1	99,36	10,06	81	1
Turrialba	4.700	8,2	261.096	6,8	29.576	7,1	113,28	8,83	576	2
Total	57.600	100	3.823.114	100	415.074	100	---	---	7.515	13
Promedio							108,57	9,21		

FUENTE: BERMÚDEZ Y CHAVES (2012)

* Dada en 96° Pol.

Es importante destacar como índice adimensional pero revelador de eficiencia agroindustrial, las diferencias verificadas en lo concerniente a la Relación Caña/Azúcar, la cual determina la cantidad de caña que debo procesar para fabricar una tonelada de azúcar en el Ingenio. Lo ideal es una relación baja pues ello me indica que la materia prima va con mayor concentración de sacarosa. La relación permite inferir de manera lógica y razonable el costo implicado al tener que cortar, cargar, transportar y procesar una determinada cantidad de caña para fabricar la unidad específica de azúcar (una TM).

Una revisión de los valores regionales de esa relación ratifica lo que también dicta el Rendimiento Industrial, al concluir que la Zona Sur posee la mejor relación con un índice de 7,76, seguida por la Zona de Turrialba- Juan Viñas con 8,83, el Valle Central con 9,09, Guanacaste con 9,21; por su parte, el Pacífico Central (10,06) y la Zona Norte (10,32) son en contrapartida las que muestran relaciones más elevadas y por tanto más problemas con la calidad industrial de su materia prima. La relación nacional de 9,2 TM de caña para fabricar una TM de azúcar debe disminuirse mediante un mejoramiento integral de procesos y calidad de caña.

Puede apreciarse en ese mismo cuadro como Guanacaste es la región que mayor cantidad de Productores Independientes reporta con 2.539 lo que representa un 33,8%, seguida muy de cerca por la Zona Sur con 2.394 (31,9%) y la Zona Norte con 716 (9,5%). En el país se reportaron en la Zafra 2011-2012 un total de 7.515 entregadores oficialmente registrados en las nóminas que LAICA lleva para ese fin (BERMÚDEZ y CHAVES 2012).

Condición de Fertilidad de los Suelos Cañeros

La condición natural de fertilidad de los suelos cañeros resulta ser determinante para la productividad y rentabilidad de la gestión comercial empresarial desarrollada, motivo por el cual prácticas como la fertilización dependen en alto grado de ello. Hay en este particular tres elementos básicos que tener en cuenta: 1) lo que no tenga y provea naturalmente el suelo, debe necesariamente adicionarse e incorporarse al sistema por medios externos; 2) la capacidad extractora de la caña es muy alto lo que llega a agotar las reservas disponibles en un suelo, aún los de alta fertilidad; 3) un sistema productivo competitivo requiere la adición complementaria permanente de nutrimentos, procurando la restitución de los nutrimentos extraídos y, con ello, el mantenimiento de un estado de fertilidad satisfactorio (ALFARO y CHAVES 1999; CHAVES 1986b).

Con el fin de tener una visión aproximada de la condición de fertilidad real de los suelos sembrados con caña de azúcar en Costa Rica, vista desde la perspectiva unilateral de los contenidos químicos de nutrimentos esenciales, se presenta el Cuadro N° 4, el cual diagnóstica y tipifica esa condición partiendo de muestreos regionales representativos.

Se determinan en principio grandes diferencias entre los suelos a nivel regional, las cuales se maximizan al desagregarlas localmente y valorar hacia al interior de las mismas, como quedó demostrado con los estudios efectuados por CHAVES y ALVARADO (1994); CHAVES y ARAYA (2007) y CHAVES y BARRANTES (2007); CHAVES, RODRÍGUEZ y ANGULO (1999). Resultan inconvenientes las generalizaciones en esta materia, lo que habilita el muestreo representativo de los suelos como instrumento para su correcta interpretación.

En términos generales existe una condición de acidez muy diferenciada expresada por valores promedio de pH entre 4,9 (Zona Sur) y 6,4 (Guanacaste) inducidos por una acidez activa de 1,70 a 0,16 cmol (+)/l, respectivamente; la cual es complementada por la presencia de concentraciones de Calcio de 1,75 y 19,60 cmol (+)/l y de Magnesio de 0,96 a 6,05 cmol (+)/l, lo que denota y dimensiona la amplitud de las significativas diferencias existentes entre ambas regiones. El contenido de Potasio en los suelos es más estable aunque igualmente con variaciones promedio que superan en algunos casos hasta el 100% de sus concentraciones, lo que marca diferencias significativas y determinantes que se maximizan con los evidentes desequilibrios cationicos que consecuentemente se generan, lo cual tiene implicaciones importantes sobre la condición de fertilidad.

CUADRO N° 4.														
Aproximación de la condición química de los suelos cultivados con caña de azúcar en CR según región productora.														
Región	N° Muestras	pH	cmol (+) / l				µg / ml						%	Sat (%) Acidez
			Acidez	Ca	Mg	K	P	S	Zn	Cu	Mn	Fe		
Guanacaste	159	6,4	0,16	19,60	6,05	0,52	17	15	2	9	17	64	4,6	0,61
Pacífico Central	51	6,0	0,19	9,85	3,64	0,38	15	--	2	8	19	59	2,8	3,46
Valle Central	118	5,3	0,59	3,88	1,29	0,52	8	--	4	16	29	+100	--	9,39
Zona Norte	317	5,4	0,46	6,04	2,71	0,83	4	1	5	13	55	91	6,6	4,58
Turrialba	145	5,1	0,91	4,77	1,36	0,21	6	--	4	17	25	+100	--	12,55
Zona Sur	104	4,9	1,70	1,75	0,96	0,23	5	5	1	9	12	+100	--	36,34
Total/Promedio	894	5,5	0,67	7,65	2,67	0,45	9	7	3	12	26	+100	4,7	6,54

FUENTE: CHAVES (1999d)

Otras especies químicas igualmente importantes manifiestan también regionalmente diferencias importantes en cuanto a la concentración de algunos nutrimentos esenciales, que pueden tornarse negativas virtud de su exceso o su deficiencia en el medio. Las concentraciones de Fósforo, Azufre y Zinc pueden catalogarse en promedio como limitantes en casi todo el país por su relativa insuficiencia, con alguna excepción para el Fósforo en la zona baja (< 400 msnm) del Pacífico Seco (Guanacaste +Pacífico Central). Las concentraciones de Hierro pueden por el contrario ser altas y hasta tóxicas en algunas localidades y bajo ciertas condiciones especiales de manejo y producción que favorecen su presencia y solubilidad en el medio. El contenido de Materia orgánica es bajo en la mayor parte de los campos cañeros, con excepciones en la zona media-alta (> 800 msnm).

Quedan demostradas las determinantes diferencias existentes en cuanto a la condición de fertilidad natural y actual de los suelos cañeros costarricenses, lo que implica y justifica consecuentemente el manejo diferenciado de la nutrición y la fertilización, lo que conlleva en muchos casos el acondicionamiento previo de los mismos, procurando corregir y/o minimizar algunas limitantes, como la acidez por ejemplo (CHAVES 1993, 1999b, 2002^a, 2004, 2008a).

Respuesta Experimental

Los ejercicios continuos y sistemáticos de muestreo, diagnóstico, interpretación y experimentación en el campo nutricional, han llevado a determinar selectivamente la posible y efectiva respuesta de algunos nutrimentos esenciales a la adición de fertilizantes al suelo. Con buen criterio técnico basado en contenidos y concentraciones de nutrimentos presentes en el suelo, así como la respuesta experimental de la planta a su adición controlada, han permitido proyectar posibles respuestas potenciales para cada región productora, tal como se muestra en el Cuadro 5 adjunto.

CUADRO 5.		
Respuesta potencial de nutrimentos a la fertilización según región productora.		
Región	Grado de Respuesta	
	Preferencial	Circunstancial
Guanacaste	N – P – S - Zn	K – B - Mn
Pacífico Central	N – P – K – S - Zn	---
Valle Central	N – P – Ca - Mg	K
Zona Norte	N – P - S	K - Ca
Turrialba	N – P – K - S - Zn	Ca – Mg - B
Zona Sur	N – P – K – Ca - Mg	Zn - B

FUENTE: CHAVES (1999d)

La respuesta esperada a la aplicación de un determinado fertilizante según criterio experto se califica como preferencial o circunstancial en función de la consistencia de los resultados y antecedentes conocidos. Como se observa en el Cuadro N° 5, regiones como la Zona Sur prácticamente responden de manera preferencial a la adición de los elementos mayores y circunstancialmente al Zn y el B; en el caso de la zona Norte la necesidad es menor, requiriéndose principalmente N-P y S y circunstancialmente K y Ca. Según ese criterio experto, en la región de Guanacaste es de esperar respuesta preferencial al N-P-S-Zn y circunstancial al K-B y Mn. Resulta obvio señalar que dicho criterio es restringido por lo que debe servir apenas de orientación, lo cual solo la investigación específica de sitio puede comprobarlo.

En ese mismo sentido es importante revisar complementariamente con detalle el contenido del Cuadro N° 6, donde se anotan de manera específica según región, ciclo vegetativo (planta-retoño o soca) y nutrimento, el ámbito de respuesta alcanzado experimentalmente con la fertilización al suelo, lo que define las superficies de respuesta para cada condición. Dicha información surge de una revisión histórica de antecedentes a partir de la cual se establecieron los ámbitos, ubicando los límites inferior y superior del intervalo de respuesta. Dicho ámbito es muy amplio para ciertos nutrimentos como resultado de la variabilidad de condiciones del entorno a partir de la cual se obtuvo.

CUADRO N° 6.										
COSTA RICA: Ámbitos de respuesta experimental a la fertilización al suelo según región productora de caña.										
Región	Planta			Retoño					CaCO ₃ TM/ha	
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	MgO	SO ₄		
Pacífico Seco	80-150	60-100	80-100	100-150	50-100	80-140	0	80		0
Valle Central	120-180	130-160	120-160	150-200	130-160	150-200	40	40		0-1,5
Zona Norte-Turrialba	110-150	120-200	130-180	120-150	100-150	130-160	40	40		0-1,5
Zona Sur	120-150	150-200	130-180	120-150	180-200	150-180	40	40		1-2
Regiones Altas	160-200	160-200	160-200	160-250	130-150	160-250	60	60		0,5-2
Amplitud	80-200	60-200	80-200	100-250	50-200	80-250	0-60	40-80		0-2

FUENTE: CHAVES (1999d)

La mayor variación expresada por la amplitud del intervalo de respuesta está determinada por el Nitrógeno y el Potasio, cuyos límites de respuesta esperada potencialmente se ubican de forma similar entre los 80 y los 250 kg de N y K₂O/ha, para un rango de variación de hasta 170 kg/ha; en el caso del Fósforo el intervalo de posible respuesta se da con adiciones de 50 a 200 kg de P₂O₅/ha para un rango de variación 150 kg. Como se infiere, el margen teórico de respuesta esperada es amplio aunque muy factible de alcanzar virtud de que surge de información real alcanzada por la investigación y la experimentación de campo. Esta información debe emplearse como criterio apenas referencial y con mucha como criterio de recomendación, pues muchos factores del entorno en que fueron obtenidos han cambiado.

Metodología

Con el fin de procurar alcanzar el objetivo planteado y demostrar la hipótesis de trabajo establecida inicialmente, se recabo a nivel de campo información representativa actual sobre la fertilización aplicada a las plantaciones comerciales de caña de azúcar. Para ello se empleo la capacidad y conocimiento de los profesionales de DIECA ubicados en todas las regiones productoras de caña del país; asimismo, se realizó la consulta a los 13 Ingenios activos sobre la misma materia. El criterio experto y el conocimiento regional fueron fundamentales en la veracidad y representatividad de la información recabada y utilizada para establecer las relaciones que seguidamente se mostrarán.

Con el fin de lograr inferencias y conclusiones representativas y apegadas a la realidad del campo, los datos se desagregaron e individualizaron por región agrícola y zona productora, sector representado en este caso Ingenios y Productores Independientes, Ciclo vegetativo (planta y soca) y nutrimento aplicado con el fertilizante.

Resultados de la Consulta

1) Fertilización por región, zona, sector, ciclo vegetativo y nutrimento:

El Cuadro N° 7 integra y resume la información básica recabada en el estudio presentándola por región y zona productora, como acontece particularmente para las regiones de Guanacaste y Valle Central, donde la misma se ubicó geográficamente y desagregó en el primer caso en Zona Este (Cañas, Bagaces y Abangares) y Oeste (Liberia, Carrillo, Santa Cruz y Nicoya) de Guanacaste; en el caso del Valle Central se desagregó también en Zona Este (Grecia, Alajuela, Atenas, etc.) y Oeste (San Ramón) de la región, lo que permitió realizar inferencias más puntuales y específicas de la materia estudiada.

Es muy importante para efectos de interpretación tener presente que los ámbitos nutricionales anotados se refieren a los productores que aplicaron fertilizante, motivo por el cual puede haber un grupo que no fertiliza, lo que es cierto y se ha también comprobado. Por este motivo, el límite inferior del intervalo anotado podría en esos casos bajar sustancialmente y llegar inclusive a cero, o sea, no adición del elemento. Tampoco pueden inferirse con esa información las cantidades de fertilizante de mayor frecuencia aplicadas, por lo que las conclusiones deben restringirse a ámbitos de aplicación.

Como se aprecia las cantidades de nutrimentos adicionadas al suelo son muy dispersas y con márgenes de variación muy amplias, aún dentro de una misma región y para un mismo ciclo vegetativo. Se notan también diferencias importantes entre los dos sectores evaluados, manteniendo los Ingenios por lo general una mejor nutrición de sus plantaciones comerciales, lo que no siempre tampoco ocurre. Queda también evidenciada la deficiente nutrición en que se mantienen muchas plantaciones en algunas regiones productoras, donde los desequilibrios son claros y esperables, lo cual indudablemente se manifiesta en los índices de producción agroindustrial.

Una interpretación resumida y aproximada por región productora permite concluir lo siguiente a partir de la información obtenida:

GUANACASTE: Hay diferencias importantes entre las Zonas Este y Oeste. En ciclo Planta la cantidad de N (120-154 kg) y K (45-126 kg) adicionada es mayor en la Zona Este respecto a la Oeste (80-126 y 18-80 kg, respectivamente); mientras el P es muy similar ente ambas zonas no superando los 100 kg. En Socas el comportamiento se mantiene pero de manera más radical con mejores dosis de N en la sección Este (90-215 kg), P (25-60 kg) y K (26-175 kg); en la sesión Oeste las mismas fueron de 100-145 kg, 0-38 kg y 0-145 kg, respectivamente, lo que marca importantes y determinantes diferencias. Dosis de N mayores de 150 kg deben revisarse. La adición de S pese a que se da en las dos Zonas es exclusiva de los Ingenios con niveles de 0-45 kg en el Este y de 19-37 kg en el Oeste.

CUADRO N° 7.										
Ámbitos de aplicación comercial de nutrimentos en la caña de azúcar en CR según región productora.										
Región	Sector	Ciclo Vegetativo	Nutrimentos Adicionados (kg/ha)							
			N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	SO ₄	Zn	B
Cañas – Guanacaste	Ingenio	Planta	120	80-100	45-50			20		
		Soca	90-215	25-60	45-175			45		
	Productores	Planta	128-154	34-41	105-126					
		Soca	120-160	27-37	26					
Liberia – Guanacaste	Ingenios	Planta	80-120	60-100	60-80			33		
		Soca	100-130	33-38	145			19-37	4-6	1
	Productores	Planta	100-126	54-68	18-23					
		Soca	120-145							
Pacífico Central	Ingenio	Planta	130-190	83-105						
		Soca	120-165							
	Productores	Planta	100-130	105						
		Soca	60-90							
Grecia – Valle Central	Ingenios	Planta	92-167	56-101	23-95	30-35	22-42	4-23	4	
		Soca	80-145	6-16	32-84	30-35	22-42	4-23	4	
	Productores	Planta	143	89	90-112			19		
		Soca	116	8	70-85			19		
San Ramón - Valle Central	Ingenio	Planta	160	101	94	35	42	23		
		Soca	128	6	63	35	42	23		
	Productores	Planta	130-160	75-90	90-110					
		Soca	110-130	7-8	70-85					
Zona Norte	Ingenios	Planta	55-115	115-180	55-115					
		Soca	90-126	12-30	45-108		14-16	8-19	2-6	
	Productores	Planta	30-80	60	30					
		Soca	57	20	61		17	5	2	
Turrialba – Juan Viñas	Ingenios	Planta	72-240	120-130	42-350		8-11			
		Soca	46-240	14-60	63-350	10-15	10-12			
	Productores	Planta	109-145	63-82	60-86			9-15		
		Soca	42-75	9-16	42-75			9-17		
Zona Sur	Ingenio	Planta	149	157	175		35	44	3	
		Soca	119	14	175		35	44	3	
	Productores	Planta	90	121	156		31	38	9	
		Soca	98	12	144		29	35	8	

FUENTE: Elaborado por el autor.

PACÍFICO CENTRAL: Clara y contundentemente el Ingenio fertiliza mejor que los productores de lo que no queda duda, aunque es cuestionable y digna de revisar la no adición de K en ningún caso, lo cual podría estar generando desequilibrios inconvenientes. Asimismo, podría eventualmente estarse adicionando más N del requerido por la planta, lo que eleva innecesariamente los costos de producción. Son temas que deben revisarse e investigarse con mayor especificidad, pues los impactos son importantes, sean estos positivos o negativos. Pareciera importante evaluar la adición suplementaria de S.

VALLE CENTRAL: Se muestran diferencias entre zonas, pese a lo cual las mismas no son tan marcadas debido a la presencia del mismo Ingenio en el lugar (Coopevictoria), lo que extiende y adapta sus criterios de manejo de una localidad a otra sobre una base común. Pese a ello, los productores de la Zona Oeste muestran aplicaciones satisfactorias de N, bajas de P e insuficientes de K; así como deficiencia en la adición de Mg y S. En ciclo Planta la dosis máxima de N es similar aunque el intervalo de aplicación es más estrecho y por tanto mejor en la Zona Oeste (130-160 kg) respecto a la Este (92-167 kg); la tendencia se traslada también para las Socas con adiciones entre 110-130 kg/ha en la Oeste y de 80 a 145 kg en la Este. El uso del P se estima insuficiente conocedores de las características fijadoras de los suelos de la región, pues la Zona Oeste incorpora en ciclo Planta apenas de 75 a 101 kg/ha y la Este de 56 a 101 kg; en Soca las dosis son bajas pues no superan en ningún caso los 16 kg. El K se estima bajo mostrando la Zona Oeste en ciclo Planta un rango de aplicación más alto (90-110 kg); en la Este fue de 23 a 112 kg/ha. El ciclo Soca reporta en ambas zonas adiciones muy bajas de K, inferiores a 85 kg, lo que es deficitario; la Zona Oeste muestra rangos de 63 a 85 kg y la Este de 32 a 85 kg/ha. En lo relativo al Mg y el S las tendencias son similares con adiciones de 0 a 42 kg y de 0 a 23 kg, respectivamente. Parecieran estarse fomentando los desequilibrios iónicos al haber una presunta insuficiencia de K en el sistema, lo cual debe revisarse y de ser posible contornarse de inmediato (Cuadros N° 4 y 5). Debiera estimularse un mayor uso de P al sembrar plantaciones; lo cual debe venir aparejado con el empleo de cal para la corrección de los suelos ácidos, sobre todo en el cantón de San Ramón.

ZONA NORTE: Esta zona resulta en la práctica difícil de interpretar en materia nutricional, pues las diferencias de fertilidad son grandes entre localidades, como lo demostraran CHAVES y ARAYA (2007), marcando necesidades puntuales y específicas por localidad. La condición de fertilidad de los suelos de la nueva y creciente zona cañera de Los Chiles y zonas aledañas es muy particular y por tanto de manejo diferenciado, pues las diferencias prevalecientes con respecto al resto de la Vertiente Atlántica es manifiesta; esta zona asemeja más por sus características a la región guanacasteca. La mayor diferencia está determinada por los dos sectores representados pues los productores adicionan poco respecto a lo que la planta en principio requiere. Niveles de N menores a 80 kg se califican

como insuficientes, lo que también acontece con el K donde la aplicación de cantidades inferiores a 61 kg/ha resultan muy deficitarias y generadoras de desequilibrios. El P tampoco resulta suficiente y debe elevarse sobre todo en ciclo Planta. En el sector de los Ingenios pareciera recomendable mejorar la dosis de K aplicada pues pareciera baja. Como se anotó, esta región es amplia y muy diversa en materia de contenidos químicos en el suelo, lo que debe motivar más investigación en cuanto a la adición de nutrimentos esenciales al suelo, lo cual se ve además influenciado e intervenido por los altos niveles de precipitación de la región que favorecen el lavado y la pérdida de nutrientes, sobre todo los nitrogenados. El uso de Mg y S pareciera importante por lo que debe reforzarse en algunas localidades como lo sugiere el Cuadro N° 4.

TURRIALBA – JUAN VIÑAS:

Hay que tener presente que esta región es excepcional y muy particular ya que incluye la Zona Alta de Juan Viñas con plantaciones de caña ubicadas en altitudes que van de 1.000 a 1.500 msnm y ciclos vegetativos de 18 a 24 meses, cuya fertilización es muy superior al resto de regiones cañeras del país virtud de que sus tonelajes de caña son también muy elevados (150-200 TM/ha). Como criterio y norma general en esas zonas de altura se aplican en promedio 1,43 kg de N/TM de caña producida /ha en el caso de la caña planta, y 1,29 kg/TM/ha en la caña soca. Es por este motivo que los ámbitos de fertilizantes reportados son los más altos del país, como se anota en el Cuadro N° 7, lo cual tampoco debe confundir la razón y motivo del hecho. Pareciera que las dosis de N aplicadas en la zona baja son apenas suficientes pudiendo por antecedente elevarse más, sobre todo en caña soca y muy en particular por parte de los Productores Independientes, donde son definitivamente insuficientes. Las dosis de K son excepto en Juan Viñas muy bajas en contraposición a las necesidades del lugar, pues como está demostrado las variedades hawaianas son especialmente ávidas por ese nutrimento (CHAVES 1998, 1999d). Las dosis de N-K adicionadas podrían eventualmente estar generando posibles desbalances nutricionales, lo que debe revisarse (CHAVES 2012). El P por su parte reviste igual relevancia pareciendo en principio insuficientes las cantidades incorporadas por parte de los productores, lo que sugiere en razón de las características fijadoras y limitantes de buena parte de sus suelos caracterizados por Andisoles y Ultisoles del lugar, complementar la corrección de los mismos mediante enclavamiento, con una adición mayor y suplementaria del nutrimento, pues como se ha demostrado los efectos positivos de esa interacción en la zona son altamente rentables. Se estima necesaria, positiva y rentable la adición de Mg y S al suelo (Cuadro N° 5), lo cual debe promoverse más pues las cantidades adicionadas actualmente son bajas e insuficientes. Se marca en definitiva una gran diferencia entre fertilización aplicada en la Zona Alta y el resto de la región.

ZONA SUR:

En cuanto a la condición química de los suelos sembrados con caña de azúcar no hay la menor duda de que los existentes en esta zona (Ultisoles) son nutricionalmente los más limitantes y deficitarios del país, como lo demuestra el Cuadro N° 4, lo cual obliga a realizar un manejo racional y técnicamente bien orientado, donde no basta apenas con echar fertilizante, sino buscar satisfacer necesidades sin inducir desbalances; la física de los suelos es buena. CHAVES y BARRANTES (2007) definieron, identificaron y señalaron las condiciones y particularidades de los suelos de la región y la respuesta de los mismos a la adición de nutrimentos. Al igual que acontece en otras zonas cañeras del país existe una polaridad marcada entre el manejo nutricional que presta el Ingenio a sus plantaciones respecto al resto de productores del lugar, pues en el primer caso puede catalogarse como satisfactoria, en tanto que en el segundo es a todas luces insuficiente y muy deficitaria, lo que indudablemente se expresa en la producción sobre todo de materia prima; el uso del N es donde se marca la principal diferencia. Pese a la adición de Mg y S es recomendable incrementar los niveles aplicados.

En consideración de que la información recabada como se demostró en el Cuadro N° 7 es muy amplia, variada y rica en contenido, se procedió a desagregar y consolidar la misma sobre criterios más genéricos que permitieran realizar inferencias y conclusiones más puntuales y pragmáticas, como se demostrara a continuación.

2) Fertilización por sector, ciclo vegetativo y nutrimento:

En el Cuadro N° 8 se resume de manera genérica para todo el país la información para las variables apuntadas, procurando discernir e interpretar con mejor criterio técnico las diferencias que pudieran existir en el país en torno a esas variables.

CUADRO N° 8.									
Ámbito de nutrimentos adicionados comercialmente según sector representado y ciclo vegetativo de la plantación									
Sector	Ciclo Vegetativo	Nutrimentos Adicionados (kg/ha)							
		N	P₂O₅	K₂O	CaO	MgO	SO₄	Zn	B
Ingenios	Planta	55-240	56-180	23-350	30-35	8-42	4-44	4	
	Soca	46-240	12-130	32-350	10-35	10-42	4-45	2-6	1
Productores	Planta	30-160	34-121	18-126		31	19-38	9	
	Soca	42-160	7-37	26-144	10	29	5-35	2-8	

Fuente: Elaborado por el autor.

A partir de la información generada puede concluirse que se nota una importante diferencia en las cantidades de nutrimentos adicionadas por los dos sectores valorados, mostrando los Ingenios, como era de esperarse, una mejor condición, lo cual se da por disponer de una mejor condición técnica y financiera para invertir en tecnología. El manejo de plantaciones por ese sector es por lo general, no siempre, mejor. Hay que reconocer que la información de los Ingenios se ve distorsionada por las dosis que incorpora el Ingenio Juan Viñas, las cuales son como se indicó, muy superiores virtud de su prolongado ciclo vegetativo (18-24 meses).

Las diferencias se tornan mayores en el caso del ciclo soca pues tienden a bajar, lo que preocupa, pues debe tenerse presente que en su mayoría las plantaciones comerciales de caña se encuentran en ese ciclo y mucho menos en ciclo de planta donde por lo general no superan el 6% debido a la baja renovación que se da en el país y que tanto inquieta. Los límites inferiores en todos los casos demuestran una manifiesta insuficiencia que puede mantener muchas plantaciones en condición de deficiencia nutricional. Es importante reconocer la adición, aunque limitada, de S y Mg por parte de ambos sectores.

3) Fertilización por sector representado y nutrimento:

Integrando la información del Cuadro N° 7 y procurando tener un mejor referente de lo actuado por los dos sectores representados, se elaboró el Cuadro N° 9, por medio del cual es viable separar y aglutinar la información obviando el importante factor del ciclo vegetativo, lo cual hay que reconocer arrastra un factor de variación determinante pero constante para ambas variables. El análisis es importante y revelador.

CUADRO N° 9.								
Ámbito de nutrimentos adicionados comercialmente según sector representado.								
Sector	Nutrimentos Adicionados (kg/ha)							
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	SO ₄	Zn	B
Ingenios	46-240	12-180	23-350	10-35	8-42	4-44	2-6	1
Productores	30-160	7-121	18-144	0-10	29-31	5-38	2-9	

Fuente: Elaborado por el autor.

Se ratifica lo anotado en el punto anterior respecto al empleo de una mejor nutrición por parte de los Ingenios, lo cual cabe reconocer no es general ni tampoco válido para todas las regiones productoras de caña, pues hay excepciones que en algún grado es posible identificar en el Cuadro N° 7. El comparativo aporta información importante.

4) Fertilización por ciclo vegetativo y nutrimento:

Con el fin de valorar las diferencias que podrían estarse dando en cuanto al manejo de las plantaciones en consideración de su ciclo vegetativo, se formuló el Cuadro N° 10, el cual permite generar algunas conclusiones importantes en procura de alcanzar el objetivo inicial. Adicionalmente se anota al final del mismo, los ámbitos de respuesta experimental o superficies de respuesta anotados en el Cuadro N° 6, lo que sirve como referente comparador de lo aplicado comercialmente y lo obtenido por la investigación.

CUADRO N° 10.								
Ámbito de nutrimentos adicionados comercialmente según ciclo vegetativo de la plantación.								
Ciclo Vegetativo	Nutrimentos Adicionados (kg/ha)							
	N	P₂O₅	K₂O	CaO	MgO	SO₄	Zn	B
Planta	30-240	34-180	18-350	30-35	8-42	4-44	4-9	
Soca	42-240	7-130	26-350	10-35	10-42	4-45	2-8	1
EXPER: Planta	80-200	60-200	80-200	0-2 t				
EXPER: Soca	100-250	50-200	80-250		0-60	40-80		

Fuente: Elaborado por el autor.

Al correlacionar lo real con respecto a lo potencial se nota una importante diferencia fundamentalmente en los límites inferiores de aplicación, siendo en todos los casos lo aplicado actualmente menor respecto a lo potencialmente necesario y con capacidad comprobada de respuesta. Puede a partir de esta inferencia sustentarse con buen criterio, que hay un segmento importante de plantaciones comerciales que ciertamente están adicionando fertilizante, pero las dosis incorporadas resultan insuficientes para satisfacer las necesidades básicas de una plantación rentable y competitiva.

La benevolencia y efecto positivo de una nutrición satisfactoria se maximiza si se valora la vida comercial útil de una plantación. Está suficientemente demostrado tanto por la investigación como también por la experiencia comercial, que una nutrición deficiente disminuye significativamente la vida útil de la plantación, llevándola muchas veces a niveles poco rentables e insostenibles comercialmente. Lo contrario es también válido.

Para lograr una mejor objetividad en las conclusiones que puedan generarse, resulta necesario abstraer la información de las Zonas Altas o en su caso compararla con los referentes de esa condición, indicados en el Cuadro N° 6.

5) Fertilización por nutrimento:

La generalización como se ha reiteradamente mencionado a lo largo del presente estudio no es una buena práctica, pero hay que aceptar que resulta muchas veces necesario realizarla para poder referenciar y comparar información generada en la misma condición. Con ese fin y reconociendo los errores de interpretación que se arrastran, se formuló el Cuadro N° 11, el cual integra con carácter nacional los ámbitos de las dosis de nutrimentos adicionados actualmente en Costa Rica.

CUADRO N° 11.								
Ámbito de nutrimentos adicionados con la fertilización comercial de las plantaciones.								
Cobertura	Nutrimentos Adicionados (kg/ha)							
	N	P₂O₅	K₂O	CaO	MgO	SO₄	Zn	B
Promedio Nacional	46-240	12-180	23-350	10-35	8-42	4-45	2-6	1
Experimental	80-250	50-200	80-250	0-2 t	0-60	40-80	---	---

Fuente: elaborado por el autor.

A partir de lo anotado en ese cuadro puede concluirse que en términos generales la fertilización promedio de las plantaciones comerciales de caña de azúcar en Costa Rica es satisfactoria; existiendo sin embargo, segmentos donde la adición no alcanza los niveles recomendados, lo cual merece especial atención en consideración de que los índices de productividad agroindustrial y la vida comercial útil de esas plantaciones es muy limitada y casi podría asegurarse, poco rentable. Se mantiene vigente la honda preocupación por los niveles inferiores de adición de nutrimentos, no así los superiores, pues son bajos.

Se demuestra una vez más la convergencia y correlación positiva que existe entre lo que genera la investigación y lo que la práctica comercial del campo como gran maestro ejercita. El Cuadro N° 11 es muy revelador en ese sentido pues con ligeras diferencias existe una alta afinidad y correspondencia para todos los nutrimentos evaluados.

6) Fertilización de zonas altas por nutrimento:

Se estima necesario en consideración de su excepcionabilidad y efecto distorsionador sobre lo que hacen las otras regiones productoras de caña, evaluar lo que acontece en las Zonas Altas en materia de fertilización comercial, lo cual indiscutiblemente favorece una mejor interpretación de la información recabada y analizada.

CUADRO N° 12. Ámbito de nutrimentos adicionados comercialmente en las ZONAS ALTAS.								
Ciclo Vegetativo	Nutrimentos Adicionados (kg/ha)							
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	SO ₄	Zn	B
Planta	200-240	130	300-350	10-15	10-11			
Soca	200-240	40-60	300-350	10-15	10-11			
EXPER: Planta	160-200	160-200	160-200	0,5-2 t				
EXPER: Soca	160-250	130-150	160-250		60	60		

Fuente: elaborado por el autor.

Se ratifica el incremento significativo de las dosis aplicadas en esa condición particular de producción, caracterizada por el cultivo de variedades de origen hawaiano que demandan para su cosecha de ciclos de 18 a 24 meses. Los suelos predominantes son en lugar corresponde a los ordenes Andisoles e Inceptisoles. Los Cuadros N° 1, 2, 4 y 5, presentan otra información complementaria que permite tipificar mejor las características y condiciones de esa región.

Destacan las altas dosis de K aplicadas lo cual sería importante revisar con especial detalle pues podrían estar superando la necesidad real de la plantación a un alto costo; sin embargo, hay que tener presente lo que está además suficientemente demostrado, como lo indicara CHAVES (1986b), que la planta de caña de origen hawaiano tiene altos requerimientos y particular avidez por ese nutrimento particular, lo que debe tenerse presente. En relación al N como criterio orientador se mantiene la adición de 1,43 kg/TM de caña producida por hectárea y de 1,29 kg/TM/ha en el caso del ciclo soca. El P según lo anotado podría estarse adicionalmente muy por debajo a los requerimientos teóricos, sin embargo, para hacer esa afirmación es necesario conocer más en detalle la condición de acidez y concentraciones del elemento en el lugar.

7) Fertilización por región, ciclo vegetativo y nutrimento:

Con el fin de comparar con sentido pragmático las cantidades de nutrimentos adicionados en las diferentes regiones productoras de caña empleando referentes válidos, se relacionan a continuación en el Cuadro N° 13 las mismas, con respecto a la respuesta obtenida experimentalmente (Cuadro N° 6) y también incorporando antecedentes productivos comerciales. A diferencia del Cuadro N° 7 se omite en este caso el sector representado por considerarlo invalido para el fin buscado. El concepto regional varió en algunos casos al integrar las localidades por similitud agroecológica y productiva, razón por la cual se nombran el Pacífico Seco (Guanacaste + Pacífico Central), Valle central (Grecia + San Ramón), Zona Atlántica (Turrialba + Zona Norte), Zona Sur y Zona Alta.

CUADRO N° 13.									
Comparativo entre la nutrición comercial aplicada respecto a la recomendada experimentalmente.									
Región	Ciclo Vegetativo	Nutrientes Adicionados (kg/ha)							
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	SO ₄	Zn	B
Pacífico Seco	Planta	100-190	34-105	18-126			20-33		
	Soca	60-215	25-60	26-175			19-45	4-6	1
EXPERIMENT	Planta	80-150	60-100	80-100					
	Soca	100-150	50-100	80-140			80		
Valle Central	Planta	92-167	56-101	23-112	30-35	22-42	4-23	4	
	Soca	80-145	6-16	32-85	30-35	22-42	4-23	4	
EXPERIMENT	Planta	120-180	130-160	120-160	0-1,5				
	Soca	150-200	130-160	150-200		40	40		
Zona Atlántica	Planta	30-240	60-180	30-350		8-11	9-15		
	Soca	42-240	9-60	42-350	10-15	10-17	5-19	2-6	
EXPERIMENT	Planta	110-150	120-200	130-180	0-1,5 t				
	Soca	120-150	100-150	130-160		40	40		
Zona Sur	Planta	90-149	121-157	156-175		31-35	38-44	3-9	
	Soca	98-119	12-14	144-175		29-35	35-44	3-8	
EXPERIMENT	Planta	120-150	150-200	130-180	1-2 t				
	Soca	120-150	180-200	150-180		40	40		
Zonas Altas	Planta	200-240	130	300-350	10-15	10-11			
	Soca	200-240	40-60	300-350	10-15	10-11			
EXPERIMENT	Planta	160-200	160-200	160-200					
	Soca	160-250	130-150	160-250	0,5-2 t	60	60		

FUENTE: Elaborado por el autor.

EXPERIMENT = Ámbitos de respuesta experimental según ciclo vegetativo y zona productora.

Una revisión detallada del contenido del Cuadro N° 13 hace notar nuevamente la relativa coincidencia que existe entre los índices de fertilización determinados por el estudio respecto a lo que la investigación ha generado para cada una de esas regiones, tanto en ciclo planta como retoño. Las diferencias vienen determinadas principalmente por las socas al adicionar valores inferiores, y también por la poca consistencia que mantienen los sectores productores respecto a la adición de K al suelo, la cual es capciosa.

El **Pacífico Seco** muestra diferencias entre localidades en cuanto a las dosis de fertilizante incorporadas en detrimento del Pacífico Central que pese a todo son coincidentes con los reportes generados por la investigación de campo, con una excepción de una dosis alta de N de 215 kg/ha en ciclo soca que pareciera en principio excesiva en la zona de Cañas. El P y el K parecieran encontrarse dentro del término aceptable en el ciclo planta pero deficitario en el de soca. El empleo de S es aún muy bajo.

Regiones como la **Atlántica** (no incluye la Zona Alta) reporta la aplicación de dosis de N-P-K muy inferiores en relación a las necesidades potenciales del lugar, lo cual estaría presuntamente generando desbalances e insuficiencias nutricionales. De nuevo los límites inferiores son preocupantes por la manifiesta insuficiencia adicionada.

En el **Valle Central** se evidencia una diferencia importante entre el concepto teórico y el real, pues la fertilización comercial se está quedando por debajo de lo teóricamente recomendado, con valores inferiores sumamente bajos y deficitarios. El N si bien se adiciona en una cantidad importante la misma es baja para la expectativa productiva que se tiene en el lugar; en tanto que la adición de P es sin duda muy baja lo mismo que la de K. Esta región posee condiciones muy particulares y si bien se reconoce que posee suelos fértiles, los mismos requieren de manejo obligado por su alta fijación de P, topografía quebrada y agricultura de ladera, poseer una altitud media-alta (600-1.400 msnm), entre otras.

La **Zona Sur** debe mejorar la dosis de N incorporadas pues en promedio es considerada baja, lo mismo que el P sobre todo en ciclo soca. Destaca la buena adición de K lo que es muy positivo en consideración de su limitación y su necesidad. El concepto nutricional en esta región debe ser operado bajo criterios integrales por la condición ácida, dystrófica y limitante de sus suelos, incluyendo el encalado, la incorporación de materia orgánica y la adición de S y Mg como complementos.

En las **Zonas Altas** las dosis aplicadas y requeridas demuestran ser muy superiores al resto del país, lo cual podría estarse pese a esto maximizando en el caso del K al adicionar dosis de hasta 350 kg de k_2O /ha; con el N acontece algo similar aunque en menor grado, lo cual merece revisarse y de ser necesario ajustarse por su impacto económico sobre los costos de producción. El P es un nutrimento esencial que por adicionarse mayoritariamente una vez al momento de realizar la siembra, no debiera limitarse, lo cual en algún grado pareciera está ocurriendo. El empleo de de S y Mg debe reforzarse.

8) Fórmulas utilizadas comercialmente para fertilizar

La vía que se utilice para adicionar e incorporar el nutrimento a la planta resulta esencial por sus efectos nutricionales y metabólicos subsecuentes, no solo por su agente activo, su concentración, su grado de solubilidad y su presentación granulométrica o foliar, sino también por la naturaleza de los elementos acompañantes al elemento principal, los cuales son determinantes para lograr una nutrición estable y balanceada a un bajo costo. En el Cuadro N° 14 se detallan las 42 formulaciones que de acuerdo con la información recabada por el estudio, fueron identificadas como las que comercialmente tanto Ingenios como productores emplean para satisfacer sus necesidades.

CUADRO N° 14. Fórmulas fertilizantes (42) empleadas comercialmente por parte del sector cañero costarricense.			
Región	Fórmula Comercial	Formulación	Peso Saco (kg)
T	0-52-0	Q	45
GT	11-52-0 (MAP)	Q	45
ZS	10-50-0		
GT - PC - T	18-46-0	F	45
VC- GT - T – SC - ZS	10-30-10	F - Q	45-50
SC	12-24-12	F	50
GT	9,4-24-27		
SC	16-16-16	Q	45
GT	5,1-15-3		
GT	17,9-12,7-20,8-0,2 (B)-2,6 (S)-0,9 (Zn)		
GT	31,4-8,8-0-8,8 (S)		
GT	30,3-6,9-15 para Vertisoles	F	50
GT – PC	46-0-0 (Urea)	Q	45
GT	40,4-9,2-0	F	50
GT	40,4-9,2-VINAZA		
GT	40-0-0-0-0-5,6 (S)		
GT	37-0-0-0,4-5,4-1,85		
GT	35,8-0-6,7-0-0,6 (B)-1,9 (S)-0,6 (Zn)		
VC – PC – T – SC -ZS	33,5-0-0 (Nitrato Amonio)	Q	45
VC	30,7-0-7-7,33 (S)	Q	45
GT	30,3-6,9-15		
GT	29,6-0-0-0-0,4 (B)-5,5 (S)-1,8 (Zn) con Nitro Xtend		
PC - GT	26-0-26	F	45
GT	25,7-5,1-15-0-5,5 (S)	F	50
GT	25,7-6,9-21		
VC	25-5-10-0-0-2,6-1,3 (Zn)		
GT	24,5-5,7-15,5-5,1 (S)		
GT	24-0-4,5-0-0,4 (B)-1,3 (S)-0,4 (Zn)		
SC	21-5-18-1-0-4,2-3,2 (S)	F	50
VC	21-0-0-7,5-11 (Ca)		
T	20-4-31		
SC	20-5-15-3,2-0-3,2 (S)	F	50
VC	20-0-0-8-11 (Ca) Nitramón		
VC	19,8-2-20-6-7,3 (S)	F	45
GT	18,5-0-0-0,4 (B)-5,5 (S)-1,8 (Zn) con FB		
GT	17,8-6-23,4-5,9 (S)-0,6 (Zn)		
T	17,2-5,2-23,5-4,5-5,5 (S)	F	45
SC	17-6-18-5-0,2 (B)-2,5 (Ca)-1,6 (S)-0,5 (Zn)	F	45
ZS	17-2-25-5-6 (S)-1,4 (Zn)	F	50
T	15-4-34		
VC	15-3-31	F - Q	45
GT	Nitro XTend (46% N)		

FUENTE: Elaborado por el autor.

Regiones: Guanacaste (GT); Pacífico Central (PC); Valle Central (VC); San Carlos (SC); Zona Sur (ZS), Turrialba (T)

No cabe la menor duda de que la cantidad y diversidad de fórmulas disponible en el comercio y empleada por el sector cañero es excesiva, muchas de las cuales son hechas “*a la carta*” para satisfacer necesidades muy particulares de las empresas. Lo ideal y procurado siempre ha sido poder disponer de formulaciones de uso genérico con pequeñas variaciones ajustables a condiciones especiales de producción, pero manteniendo un patrón básico de contenido nutricional. La cantidad y diversidad confunde y complica, no hay duda, sobre todo al productor pues su criterio de aplicación se mantendrá sobre el tradicional uso por cantidad de sacos y no por su contenido y concentración.

Por lo general se busca disponer de formulaciones de bajo costo que aporten simultánea y complementariamente varios nutrimentos esenciales, lo cual resulta sin embargo engañoso, pues la dosis incorporada se torna baja, requiriendo entonces más sacos para aplicar la misma cantidad. Esta situación genera muchas veces insuficiencia nutricional que con el tiempo se convierte en deficiencia y traduce en baja productividad.

La fertilización en Costa Rica

La práctica de la fertilización de los cultivos ha sido por tradición en Costa Rica un tema de especial relevancia, importancia e interés en el manejo de cultivos, lo cual en el caso particular de la caña de azúcar viene motivado por varias circunstancias como son:

- 1) Se reconoce la importancia y necesidad de la práctica para estimular la producción y mejorar la calidad agroindustrial del producto final.
- 2) La variabilidad que existe en las condiciones de fertilidad de los suelos nacionales a nivel de región y localidad, obliga a valorar las respuestas potenciales que pudieran darse en el sitio de producción.
- 3) Está demostrado que una fertilización óptima resulta económica y muy rentable. Resulta difícil pensar en una actividad empresarial competitiva sin una nutrición satisfactoria y balanceada.
- 4) La naturaleza extensiva del cultivo involucra grandes áreas de suelo con ambientes productivos muy diferentes.
- 5) La gran capacidad extractora de nutrimentos propia de la planta de caña, obliga al menos a incorporar una fertilización restituida y suplementaria satisfactoria, con el objeto de evitar el agotamiento sistemático de los suelos.

Es por estas y otras razones que el tema ha sido ampliamente investigado, analizado e implementado a nivel de campo, procurando alcanzar la máxima eficiencia técnica, el óptimo económico y la mayor rentabilidad que sea viable y factible en beneficio de la gestión empresarial.

El tema de la fertilización y la nutrición de la caña de azúcar ha sido en lo específico abordado y desarrollado por varios investigadores nacionales, entre los cuales destacan los estudios de CHAVES (1983, 1986a, 1988, 1989, 1993, 1996, 1999ad, 2003, 2005abc, 2008b, 2010b); CHAVES y ALVARADO (1994) y CHAVES y BERMÚDEZ (1984), entre muchos otros que hay disponibles en el país.

Conclusiones

Con base en los resultados expuestos y comentados anteriormente, se infiere y concluye lo siguiente:

- 1) 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.
- 2) Los suelos cañeros costarricenses muestran importantes variaciones y grandes diferencias en sus características físico-química que condicionan y determinan su grado de fertilidad natural, las cuales no siempre satisfacen las necesidades básicas de un cultivo productivo, rentable y competitivo, lo que obliga a su manejo óptimo y racional visualizado en el tiempo.
- 3) 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.
- 4) En términos generales las plantaciones comerciales de caña presentan una necesidad manifiesta por la adición de nutrimentos para sostener un nivel de productividad agroindustrial elevado y una vida útil prolongada y rentable.
- 5) 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.
- 6) No existe un patrón básico de fertilización a nivel nacional que pudiera establecerse como dominante, si no que los criterios locales puntuales resultan ser comunes y habituales. Esto hace que los programas regionales y hasta locales de fertilización predominen virtud de la alta variabilidad prevaleciente en nuestros heterogéneos ambientes productivos.
- 7) Muy pocas unidades productivas guían la nutrición de sus plantaciones comerciales con base en criterios modernos apegados a la *“agricultura de*

precisión”; sin embargo, la validación local por lote y finca de nutrimentos en cierta forma procura lo mismo, obviamente con grados de variación e incertidumbre muy altos.

- 8) Las diferencias encontradas en el estudio incluyen variables como región productora, sector involucrado, ciclo vegetativo de la planta y nutrimento aplicado, las cuales se interaccionan y articulan generando una condición de difícil interpretación.
- 9) Las regiones productoras de caña de azúcar mostraron grandes variaciones entre sí en cuando a las cantidades y naturaleza de los nutrimentos adicionados, lo cual viene articulado y auspiciado por la condición de fertilidad de sus suelos y la expectativa de producción esperada lograr.
- 10) Las Zonas Altas mayores de 1.000 msnm que producen caña son particularmente muy diferentes al resto de localidades, lo que se manifiesta en ciclos vegetativos de 18 a 24 meses, cultivo de variedades de origen hawaiano Sigla H y adición de dosis altas particularmente de N-K, normalmente superiores a 200 kg/ha.
- 11) Es definitivo que la variedad constituye un factor determinante de respuesta al fertilizante, tal vez más incidente que la condición misma de fertilidad del suelo, como experimentalmente se ha demostrado. Cada material genético posee atributos, capacidades y necesidades propias y particulares que deben satisfacerse y potenciarse.
- 12) Las diferencias entre los dos sectores representados en cuanto a nutrición resultó evidente y amplia en algunas regiones, no todas, demostrando un mejor manejo de la fertilización por parte de los Ingenios respecto a los Productores Independientes, lo que revela una mayor capacidad de inversión en tecnología y una mayor credibilidad en sus beneficios productivos.
- 13) Las diferencias detectadas en cuanto a las cantidades de nutrimentos esenciales adicionadas en el ciclo vegetativo de caña planta respecto al de soca quedó también evidenciado en favor del primero, lo cual se maximizó aún más al considerar el sector representado.
- 14) Las cantidades de N-P-K aplicadas por lo general mostraron limitantes en cuanto al P y el K adicionados, pues las dosis reportadas fueron calificadas como bajas. Esta situación además de generar insuficiencia actual, en el tiempo podrían decantar en deficiencias y desequilibrios nutricionales que atentan contra la producción y la prolongación de la vida comercial de la plantación. En las Zonas Altas podrían estarse adicionando innecesariamente dosis altas de K, lo que debe revisarse.
- 15) Las cantidades de Mg y S fueron bajas pero se estima importantes. Quedó evidenciado que su adición surge a partir del ión acompañante de la fórmula y no

de una intensidad expresa por aplicarlo en la cantidad recomendada. Con la incorporación de Zn y B aconteció algo similar.

- 16) No se reportó el uso de fertilizantes foliares aplicados a las plantaciones comerciales, exceptuando en el Ingenio TABOGA con alguna experiencia en esa opción al adicionar circunstancialmente un foliar a base de Si-N-Micronutrientes y AG3. Este tipo de fertilización se mantiene aún a nivel experimental sin dar el paso final a comercial, similar a lo que acontece en el mundo.
- 17) Las dosis de nutrimentos esenciales adicionadas por los sectores consultados se ajustan en alto grado en su límite superior a las obtenidas experimentalmente y anotadas en las superficies de respuesta; sin embargo, las dosis mínimas de quienes reportaron aplicar fertilizantes fueron por el contrario muy bajas e insuficientes para pretender alcanzar estabilidad productiva y fomentar los equilibrios nutricionales.
- 18) La convergencia y correlación positiva existente entre la información de rangos o superficies de respuesta a la adición de nutrimentos esenciales que genera la investigación, respecto a lo que la práctica comercial del campo como gran maestro ejercita, quedó nuevamente demostrada. Se comprobó que con ligeras y aceptables diferencias existe en general una alta afinidad y correspondencia para todos los nutrimentos evaluados.
- 19) El acondicionamiento previo de muchos suelos agrícolas resulta imperativa y obligada virtud de las limitantes y restricciones que existen para el accionar óptimo, eficiente y efectivo de los fertilizantes en el medio. El uso de la Cal (Ca) para corregir los problemas de acidez y el azufre (S) en los suelos Eutróficos es necesaria en buena parte de las tierras sembradas con caña en el país. La corrección y el acondicionamiento potencian una mejor acción nutricional.
- 20) 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.
- 21) La sana intención de procurar disponer fórmulas fertilizantes completas y de bajo costo que agreguen simultáneamente varios nutrimentos esenciales al suelo, además del tradicional N-P-K, especialmente Mg, S y micros como Zn y B, provoca que las concentraciones sean muy bajas por lo que las cantidades incorporadas resultan insuficientes, casi simbólicas, y de limitado efecto nutricional.
- 22) Resulta importante y necesario profundizar en el tema abordado por el presente estudio, empleando la técnica de muestreos estructurados y aleatorios

representativos que aporten certeza a la información generada, pues las inferencias que se establecen resultan altamente pragmáticas y útiles para mejorar la práctica de fertilizar las plantaciones comerciales de caña de azúcar.

- 23) Los estudios futuros deben procurar ubicar la dosis y fórmula fertilizante más frecuente y de uso comercial más generalizado en cada región, lo que permite establecer una línea base y sobre ella proyectar los desvíos y sesgos que puedan estarse dando; el presente estudio no lo permitió.
- 24) Como conclusión final puede aseverarse que la hipótesis de trabajo establecida inicialmente en el sentido de que *“la variabilidad es máxima y la desviación entre lo teóricamente requerido y lo realmente adicionado es amplia, generando con ello una condición de insuficiencia y presunta desnutrición en muchas plantaciones comerciales”*, se cumplió parcialmente, pues si bien efectivamente la variabilidad fue alta, el desvío no fue tan significativo pese a lo cual se dio.

Literatura Citada

- 1) ALFARO, R.; CHAVES, M. 1999. **Observaciones sobre la capacidad de extracción y agotamiento nutricional de un Ultisol cultivado con caña de azúcar.** *En:* 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. *También en:* Participación de DIECA en el XI Congreso Nacional Agronómico y de Recursos Naturales. San José, Costa Rica. LAICA-DIECA, julio 1999. p:153. Disponible en:
<http://www.laica.co.cr/biblioteca/dieca/nutricionyfertilizacion>
- 2) BERMÚDEZ ACUÑA, L.A.; CHAVES SOLERA, M.A. 2011. **Resultado agroindustrial de la zafra 2010-2011.** *En:* Congreso Azucarero Nacional ATACORI “MSc. Teresita Rodríguez Salas (†)”, 18, Colegio de Ingenieros Agrónomos, San José, Costa Rica, 2011. Memoria. San José, Asociación de Técnicos Azucareros de Costa Rica (ATACORI), 8 y 9 de setiembre del 2011. Conferencia Electrónica en Power Point. 54 Láminas. Disponible en:
<http://www.laica.co.cr/biblioteca/dieca/generalidadesindustriaazucarera>
- 3) BERMÚDEZ ACUÑA, L.A.; CHAVES SOLERA, M.A. 2012. **Comentarios resultados finales de la zafra 2011-2012.** *En:* Boletín Informativo “Conexión”, Número 6, Enero-Agosto 2012, LAICA, San José, Costa Rica. p:1-17. Disponible en:
<http://www.laica.co.cr/biblioteca/dieca/generalidadesindustriaazucarera>
- 4) 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. Disponible en:
<http://www.laica.co.cr/biblioteca/dieca/nutricionyfertilizacion>
- 5) CHAVES SOLERA, M.A. 1986a. **Consejos prácticos de utilidad sobre fertilización para los productores de caña de azúcar.** Boletín Informativo DIECA (Costa Rica) Año 4, Nº 24, San José. p:1-3. Disponible en:
<http://www.laica.co.cr/biblioteca/dieca/nutricionyfertilizacion>

- 6) CHAVES SOLERA, M.A. 1986b. **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. Disponible en:
<http://www.laica.co.cr/biblioteca/dieca/nutricionyfertilizacion>
- 7) 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.
- 8) 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.** En: Congreso Agronómico Nacional, 8, Cartago, Costa Rica. 1989. Resúmenes. San José, Colegio de Ingenieros Agrónomos, julio. Volumen 1. p:80-81.
- 9) CHAVES SOLERA, M.A. 1993. **Importancia de las características de calidad de los correctivos de acidez del suelo: desarrollo de un ejemplo práctico para su cálculo.** San José, Costa Rica. LAICA-DIECA, junio. 41 p. Disponible en:
<http://www.laica.co.cr/biblioteca/dieca/suelos>
- 10) CHAVES SOLERA, M. 1996. **Experiencias con la fertilización de la caña de azúcar en Costa Rica.** En: 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. También en: Congreso de ATALAC, 4 y Congreso Azucarero Nacional, 3, Barquisimeto, Venezuela, 1997. Resúmenes. Barquisimeto, Asociación de Técnicos Azucareros de Latinoamérica y El Caribe (ATALAC), marzo. p:11. También en: Congreso de Técnicos Azucareros, 12, San Salvador, El Salvador, 1997. Memorias. San Salvador. Asociación de Técnicos Azucareros de Centroamérica (ATACA). p:253-260.
- 11) CHAVES SOLERA, M. 1997. **El Nitrógeno y la caña de azúcar.** En: Congreso de ATACORI “Roberto Mayorga C.”, 11, San Carlos Costa Rica, 1997. Memoria. San José, ATACORI, octubre-noviembre. Tomo I p:39-65.
- 12) CHAVES SOLERA, M. 1998. **El Potasio y la caña de azúcar.** En: Congreso de ATACORI “Álvaro Chavarría P.”, 12, Carrillo, Guanacaste, Costa Rica, 1998. Memoria. San José, ATACORI, setiembre. p:90-102.
- 13) CHAVES, M. 1999a. **Nutrición y fertilización de la caña de azúcar en Costa Rica.** En: Congreso Nacional Agronómico y de Recursos Naturales, 11, San José, Costa Rica, 1999. Memoria: *Recursos Naturales y Producción Animal*. San José, Colegio de Ingenieros Agrónomos: EUNED, julio. Volumen III. p:193-214. También en: Participación de DIECA en el XI Congreso Nacional Agronómico y de Recursos Naturales. San José, Costa Rica. LAICA-DIECA, julio 1999. p:46-67. Disponible en:
<http://www.laica.co.cr/biblioteca/dieca/nutricionyfertilizacion>
- 14) CHAVES, M. 1999b. **La práctica del encalado de los suelos cañeros en Costa Rica.** En: Congreso de ATACORI “Randall E. Mora A.”, 13, Carrillo, Guanacaste, Costa Rica, 1999. Memoria. San José, Asociación de Técnicos Azucareros de Costa Rica (ATACORI), setiembre. p:216-223.
- 15) CHAVES, M. 1999c. **El Fósforo y la caña de azúcar.** En: Congreso de ATACORI “Randall E. Mora A.”, 13, Carrillo, Guanacaste, Costa Rica, 1999. Memoria. San José, Asociación de Técnicos Azucareros de Costa Rica (ATACORI), setiembre. p:187-215.
- 16) CHAVES SOLERA, M. 1999d. **El Nitrógeno, Fósforo y Potasio en la caña de azúcar.** San José, Costa Rica. LAICA-DIECA, setiembre. 130 p. Disponible en:

<http://www.laica.co.cr/biblioteca/dieca/nutricionyfertilizacion>

- 17) CHAVES SOLERA, M. 2002a. **Corrección de suelos ácidos para cultivar caña de azúcar.** San José, Costa Rica. LAICA-DIECA, julio. 8 p. Disponible en:
<http://www.laica.co.cr/biblioteca/dieca/suelos>
- 18) CHAVES SOLERA, M. 2002b. **Importancia del Potasio en la producción de caña de azúcar: casos de investigación.** Liberia, Guanacaste, Costa Rica, noviembre. Presentación Electrónica en Power Point. 60 Láminas. Disponible en:
<http://www.laica.co.cr/biblioteca/dieca/nutricionyfertilizacion>
- 19) CHAVES SOLERA, M. 2003. **Fertilización de la caña de azúcar en Costa Rica: Experiencias de los Últimos 20 Años (Periodo 1980-2000).** En: 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. También en: Congreso Latinoamericano, 15 y Congreso Cubano, 5, de la Ciencia del Suelo, Varadero, Cuba, 2001. Programas y Resúmenes. Varadero, Sociedad Cubana de la Ciencia del Suelo. 2001. Nov. 11-16. Boletín N° 4. p:114. Disponible en:
<http://www.laica.co.cr/biblioteca/dieca/nutricionyfertilizacion>
- 20) CHAVES SOLERA, M. 2004. **Corrección de suelos ácidos y encalado de la caña de azúcar.** San Ramón, Alajuela, Costa Rica, mayo. Presentación Electrónica en Power Point. 67 Láminas. Disponible en: <http://www.laica.co.cr/biblioteca/dieca/suelos>
- 21) CHAVES SOLERA, M. 2005a. **Fertilizantes: características y manejo.** EARTH, Guácimo, Limón, junio. Presentación Electrónica en Power Point. 86 Láminas. Disponible en:
<http://www.laica.co.cr/biblioteca/dieca/nutricionyfertilizacion>
- 22) CHAVES SOLERA, M. 2005b. **La fertilización en la producción de caña de azúcar orgánica.** San Ramón, Alajuela, Costa Rica, setiembre. Presentación Electrónica en Power Point. 6 Láminas. Disponible en:
<http://www.laica.co.cr/biblioteca/dieca/nutricionyfertilizacion>
- 23) CHAVES SOLERA, M. 2005c. **Nutrición y fertilización de la caña de azúcar.** EARTH, Guácimo, Limón, junio. Presentación Electrónica en Power Point. 70 Láminas. Disponible en:
<http://www.laica.co.cr/biblioteca/dieca/nutricionyfertilizacion>
- 24) CHAVES SOLERA, M. 2008a. **Corrección y encalamiento de suelos cañeros: una buena opción nutricional en tiempos difíciles.** Grecia, Alajuela, Costa Rica, noviembre. Presentación Electrónica en Power Point. 95 Láminas. Disponible en:
<http://www.laica.co.cr/biblioteca/dieca/suelos>
- 25) CHAVES SOLERA, M. 2008b. **Consideraciones técnico - económicas para la correcta nutrición y fertilización de la caña de azúcar en Guanacaste.** EARTH, Liberia, Guanacaste, Costa Rica, diciembre. Presentación Electrónica en Power Point. 110 Láminas. Disponible en:
<http://www.laica.co.cr/biblioteca/dieca/nutricionyfertilizacion>
- 26) CHAVES SOLERA, M. 2010a. **El manejo del suelo y el empleo del Potasio en la agroindustria azucarera de Costa Rica.** San Salvador, El Salvador, marzo. Presentación Electrónica en Power Point. 179 Láminas. Disponible en:
<http://www.laica.co.cr/biblioteca/dieca/nutricionyfertilizacion>

- 27) CHAVES SOLERA, M. 2010b. **Dinámica del Nitrógeno en el suelo y la planta de caña de azúcar.** San José, Costa Rica, noviembre. Presentación Electrónica en Power Point. 57 Láminas. Disponible en:
<http://www.laica.co.cr/biblioteca/dieca/nutricionyfertilizacion>
- 28) CHAVES SOLERA, M. 2012. **Relaciones catiónicas y su importancia para la agricultura.** En: 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. Disponible en:
<http://www.laica.co.cr/biblioteca/dieca/nutricionyfertilizacion>
- 29) CHAVES SOLERA, M.A.; ALVARADO H., A. 1994. **Manejo de la fertilización en plantaciones de caña de azúcar (*Saccharum spp*) en Andisoles de ladera de Costa Rica.** San José, Costa Rica. LAICA-DIECA. julio. 41 p. También en: Memorias. 15th World Congress of Soil Science. International Society of Soil Science (ISSS). Acapulco, México, del 11 al 15 de julio de 1994. Volumen 7a. p:353-372. Disponible en:
<http://www.laica.co.cr/biblioteca/dieca/nutricionyfertilizacion>
- 30) CHAVES S., M.; ARAYA V., A. 2007. **Caracterización preliminar de suelos cultivados con caña de azúcar en la zona norte de Costa Rica: cantones de San Carlos y Los Chiles.** En: Congreso Nacional de Suelos, 5, Heredia, Costa Rica, 2007. Memoria. Heredia, IMBioparque, Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo (ACCS), 29, 30 y 31 agosto. También en: San José, Costa Rica. LAICA-DIECA, setiembre 2007. 40 p. Disponible en:
<http://www.laica.co.cr/biblioteca/dieca/suelos>
- 31) 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. Disponible en: Presentación Electrónica en Power Point. INBIO, Heredia, Costa Rica, agosto. 41 Láminas:
<http://www.laica.co.cr/biblioteca/dieca/nutricionyfertilizacion>
- 32) CHAVES, M.; BERMÚDEZ, A. 1984. **Metodología para estimar dosis óptimas económicas de fertilizantes en caña de azúcar.** En: Congreso Agronómico Nacional, 6, San José, Costa Rica, 1984. Resúmenes. San José, Colegio de Ingenieros Agrónomos, julio. Volumen 1. p:21-22. Disponible en:
<http://www.laica.co.cr/biblioteca/dieca/nutricionyfertilizacion>
- 33) CHAVES, M.; RODRÍGUEZ, M.; ANGULO, A. 1999. **Fertilización de las plantaciones comerciales de caña de azúcar en la región de Guanacaste.** En: Congreso Nacional Agronómico y de Recursos Naturales, 11, San José, Costa Rica, 1999. Memoria: *Recursos Naturales y Producción Animal.* San José, Colegio de Ingenieros Agrónomos: EUNED, julio. Volumen III. p:339. También en: Participación de DIECA en el XI Congreso Nacional Agronómico y de Recursos Naturales. San José, Costa Rica. LAICA-DIECA, julio 1999. p:155. También en: Congreso de ATACORI "Randall E. Mora A.", 13, Guanacaste, Costa Rica, 1999. Memoria. San José, Asociación de Técnicos Azucareros de Costa Rica, setiembre. p:86. Disponible en:
<http://www.laica.co.cr/biblioteca/dieca/nutricionyfertilizacion>