

# Suelos, nutrición y fertilización de la caña de azúcar en Costa Rica.

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

## Introducción

En un entorno dinámico y cambiante, muy competitivo en todos los sentidos particularmente en el ámbito productivo y comercial, son numerosos los tópicos y asuntos que deben atenderse, resolverse y mejorarse para poder participar del agro negocio azucarero con posibilidades de éxito al acceder mercados selectos de alto nivel donde los precios pagados son superiores. Esta realidad competitiva inmersa en los elementos que operan la globalización, nos enfrenta insoslayablemente a realizar una revisión completa de toda la cadena agroindustrial del azúcar, desde el campo y hasta la mesa del consumidor, procurando superar las limitantes y restricciones que pudieran existir, procurando invocar y generar una mejora integral de procesos y productos intermedios y finales que favorezcan la diversificación, el mejoramiento sustantivo de la calidad y la incorporación de valor agregado, como reiterativamente comentado y analizado (Chaves 2012c; 2014ab).

Algunos de los mayores y más inmediatos desafíos que tiene pendientes de satisfacer el sector azucarero costarricense en el corto y mediano plazo, son entre otros los siguientes: 1) incrementar significativamente los indicadores básicos de productividad agroindustrial (kg de sacarosa/tonelada de caña procesada en el ingenio y las toneladas de caña molida y azúcar fabricada/ha), 2) mejorar ostensiblemente la calidad del producto final elaborado, 3) diversificar e incorporar valor agregado al azúcar, sus derivados y residuos, 4) reducir costos y optimizar la relación financiera elevando la rentabilidad y la competitividad general y 5) ajustar

---

<sup>1</sup> Ingeniero Agrónomo, MSc. Gerente. *Departamento de Investigación y Extensión de la Caña de Azúcar (DIECA-LAICA)*, Costa Rica. E-mail: [mchavez@laica.co.cr](mailto:mchavez@laica.co.cr). Teléfono (506) 2284-6066 / 2284- 6067.

**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.

y alinear la actividad productiva a los principios del desarrollo sostenible y la eco eficiencia (2013a; 2015; 2016c; 2017aef; Chaves y Bermúdez 1999).

El abordaje, atención y desarrollo de esos cinco importantes y determinantes retos implica y obliga incuestionablemente a realizar significativos esfuerzos en varias áreas del agro negocio para procurar llegar hasta su cumplimiento, sea este parcial o total; entre los cuales la optimización y maximización del potencial esperable y alcanzable de los recursos bióticos y abióticos implicados resulta determinante. En este particular el factor edáfico es uno de ellos, pues su uso pleno, satisfactorio y con criterio técnico en todos los órdenes favorece y potencia la mejora productiva en un régimen de alta rentabilidad.

### **Antecedentes**

El tema edáfico asociado y vinculado a la nutrición y la fertilización del cultivo ha sido abordado de manera amplia en cobertura y con relativa profundidad, lo cual ha permitido obtener un conocimiento básico importante sobre requerimientos, necesidades y respuestas que coadyuvan a mantener niveles productivos satisfactorios. Es claro que la dinámica del cultivo obliga a revisar de manera continua el tema nutricional en consideración de los profundos cambios que de manera consistente se dan en cuanto a variedades sembradas, desplazamiento de plantaciones comerciales por presión urbana a nuevas zonas y localidades de siembra que no son muchas veces las mejores y donde los suelos son problemáticos, cambio climático permanente con fuertes impactos, reducción en la inversión en tecnología productiva que se pragmatiza en disminución de la fertilización y deterioro nutricional.

Es conocido y está suficientemente referenciado que cuando la rentabilidad de la empresa cañera es baja y las utilidades se tornan insuficientes para cubrir la manutención familiar y atender como corresponde la plantación, el productor de caña recurre en su “racionalidad financiera” a prescindir o en su caso disminuir la intensidad y calidad de algunas actividades importantes, como son: 1) se deja de renovar plantaciones, 2) si se siembra se emplean variedades tradicionales que no impliquen un costo extra, 3) se prescinde del uso de semilla de calidad,

4) la preparación del terreno para la siembra es deficiente, 5) se reduce significativamente la cantidad de fertilizante adicionada, 5) se afecta la calidad nutricional al reducir la aplicación al empleo de “fórmulas baratas” que concentran su formulación y contenido casi exclusivamente al nitrógeno y 6) la integralidad nutricional se pierde y simplemente se fertiliza. Lo más grave de esto es que la situación se torna reiterativa y por tanto acumulativa con el paso del tiempo.

No hay duda que la rusticidad de la planta de caña resulta insuficiente para responder a entornos y condiciones tan limitantes, lo que irremediablemente repercute en fuertes impactos productivos traducidos en bajos índices de productividad agroindustrial, donde la cantidad de caña producida (t/ha) se disminuye significativamente, la concentración de sacarosa en los tallos (kg/t caña) se afecta y la recuperación de azúcar en la fábrica (t/ha) se vuelve insuficiente; en términos generales, la calidad de la materia prima producida, entregada y procesada es de muy baja calidad, lo que afecta a todos.

### **¿Dónde se cultiva la caña para fabricar azúcar?**

La caña es una planta excepcional de reconocida rusticidad que posee virtud de sus destacables atributos y propiedades genéticas, anatómicas, eco fisiológicas, metabólicas y funcionales (Chaves 1988, 2011; Chaves *et al* 1991; Montenegro y Chaves 2009, 2011, 2012), una enorme capacidad de adaptación a condiciones adversas y hasta limitantes, donde otros cultivos pocas posibilidades de crecimiento y desarrollo tendrían, lo cual favorece que muchas veces la planta se siembre en entornos que poco contribuyen y coadyuvan a lograr productividades rentables, sostenibles y competitivas. Esa ventaja competitiva natural se convierte paradójicamente en una desventaja manifiesta y de consecuencias negativas, en consideración de que las dificultades aumentan como también los costos, por tener que incorporar una mayor y onerosa inversión en tecnología.

En Costa Rica la caña destinada a la fabricación de azúcar y no a otros destinos (dulce y pecuario), se reportó durante el año 2016 cultivada en 6 provincias, 27

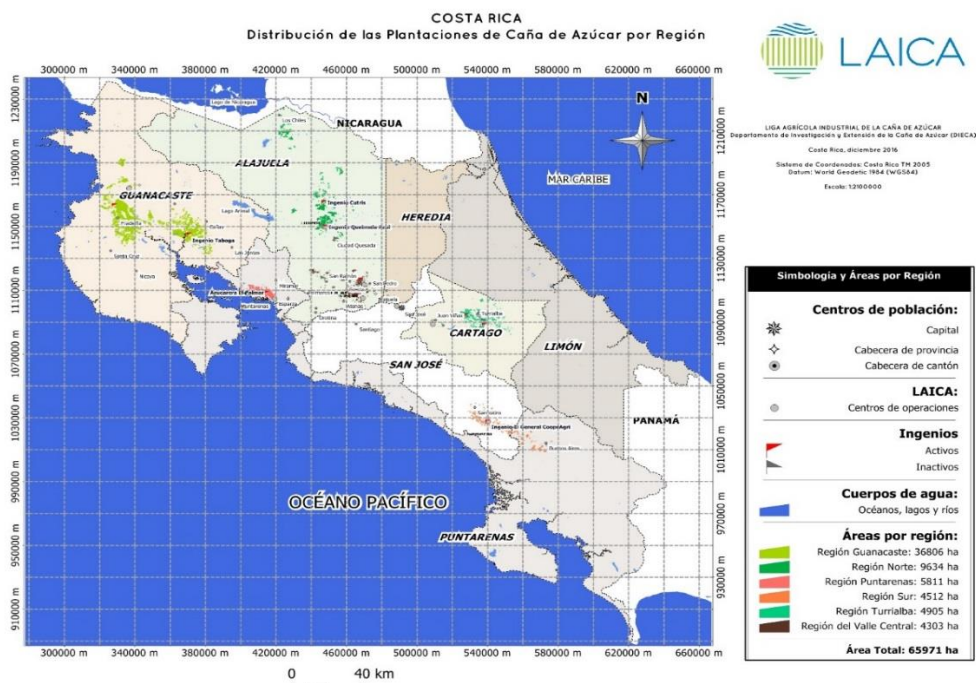
cantones y cerca de 98 distritos, ratificando su amplia dispersión por todo el territorio nacional, como también señalara Chaves (2017f). La agroindustria azucarera costarricense está organizada y opera de acuerdo con la legislación nacional vigente (LAICA 1998, 2000), en 6 regiones productivas geográficamente diferenciadas y agrónomicamente bien tipificadas, que mantienen patrones edafoclimáticos y estructuras productivas muy particulares (Chaves *et al* 2016; Chaves y Chavarría 2013; Chaves 2017b). La caña se cultiva en condiciones y entornos muy disímiles que los diferencian en varios factores determinantes, como son: clima, suelo, relieve, manejo, variedades sembradas, fitosanidad, necesidad y disponibilidad de riego, maduración, capacidad mecanizable, nivel tecnológico disponible, manejo agronómico, calidad de materia prima, potencial de productividad agroindustrial, capacidad de procesamiento disponible, eficiencia de fabricación, entre otros (Chaves y Chavarría 2013; Chaves 2017b).

Sobre este punto detalla Chaves (2017c), que: *“La agroindustria nacional posee actualmente 13 ingenios activos con capacidades nominales de procesamiento variables entre 800 y 8.500 toneladas métricas (tm) de caña por día, para un potencial nacional de molienda de 46.000 t/día. Hay oficialmente registrados cerca de 7.074 entregadores independientes de caña de acuerdo con los rangos y criterios legales fijados por LAICA (1998, 2000), de los cuales el 91,6% realizan entregas inferiores a 500 tm por lo que se estima poseen fincas menores de 6,7 ha, propias de una estructura de tenencia de pequeño agricultor que aporta un gran significado social a la agroindustria (Chaves et al 2016). Las plantaciones se ubican en un piso altitudinal que va desde 0 a 1.550 msnm, con dominio de siembra de las variedades: CP 72-2086, B 82-333, NA 85-1602, NA 56-42, SP 81-3250, Mex 79-431, RB 86-7515 y CP 72-1210, entre muchas otras; se estima que la base genética nacional se fundamenta en el cultivo de 15 clones de muy diverso origen y atributos. La precipitación varía entre 1.400 y 3.100 mm anuales, con una media de temperatura entre 20,9 y 27,6°C y un promedio de 3,9 a 7,5 horas luz al año; lo cual obliga aplicar riego (gravedad, aspersión y goteo) en la zona baja (<400 msnm) de régimen Ústico y drenaje en*

las otras. El relieve es variable de plano a ondulado con pendientes de 0 a 35% que tipifica como “agricultura de ladera” en sus áreas más quebradas (Chaves y Alvarado 1994). La región de Guanacaste es la que más área sembrada posee (55,7%), más caña procesa (57,5%) y azúcar fabrica (59,1%); pese a lo cual la mejor concentración de sacarosa está contenida en las cañas sembradas en la Zona Sur con un promedio de 124,96 kg 96°/tm, según resultados de la Zafra 2016-2017 (LAICA 2017). Se estima que cerca de un 9,42% del azúcar se produce en localidades altas superiores a 1.000 msnm (Chaves 2017b).”

Los 27 cantones que reportaron producción de caña durante el año 2016 fueron: Abangares, Alajuela, Alvarado, Atenas, Bagaces, Buenos Aires, Cañas, Cartago, Carrillo, Esparza, Grecia, Jiménez, Liberia, Montes de Oro, Naranjo, Nicoya, Palmares, Paraíso, Pérez Zeledón, Poás, Puntarenas, San Carlos, San Mateo, San Ramón, Santa Cruz, Turrialba y Valverde Vega (Chaves et al 2016).

Como se infiere de la descripción y tipificación anterior, la variabilidad de los entornos productivos es muy alta en todos los sentidos virtud de lo disímil de las localidades geográficas vinculadas, como se concluye y visualiza en la Figura 1 y caracteriza productivamente en el Cuadro 1.



**Cuadro 1. Caracterización agroindustrial de las regiones productoras de caña de azúcar en Costa Rica.**

Región Productora	Ingenios Activos (N°)	Área Sembrada (ha)	Rango Altitud (msnm)	Total *					Lluvia (mm)	Temperatura media (°C)	N°	
				Caña Procesada (tm)	%	Azúcar Fabricada (tm 96°)	%	Sacarosa (kg 96°/tm)			Orden	Sub Orden
Guanacaste	3	36.806	7-150	2.566.443,8	59,1	268.613,4	59,4	104,66	1.400	27,6	6	8
Pacífico Central	1	5.735	0-340	378.207,8	8,7	36.176,1	8,0	95,65	1.500	27,0	3	5
Valle Central	4	4.421	160-1.360	364.606,5	8,4	37.072,6	8,2	101,68	2.600	23,3	5	9
Zona Norte	2	9.633	30-660	490.910,6	11,3	46.760,6	10,3	95,25	3.100	24,8	5	9
Zona Sur	1	4.512	180-870	288.364,9	6,6	36.034,3	8,0	124,96	2.500	24,5	4	4
Turrialba	2	4.949	480-1.550	255.356,8	5,9	27.498,9	6,1	107,69	2.700	20,9	3	3
Total Nacional	13	66.056	0-1.550	4.343.890,4		452.155,9		104,09	2.300	24,7	9	16
Porcentaje					100		100					

\* Zafra 2016-2017 dados en 96° Pol (Fuente: Departamento Técnico LAICA 2017).

**Figura 1.**

**Distribución de las plantaciones comerciales de caña de azúcar en Costa Rica.**

Revela el Cuadro 1 que es la región de Guanacaste la que más área sembrada posee (36.806 ha), caña procesa (59,1%) y azúcar fabrica (59,4%) en el país; aunque es en la zona Sur donde las concentraciones medias de sacarosa son mayores con un promedio de 124,96 kg 96° pol/tc sin el empleo de madurantes artificiales y mejor Relación Caña/Azúcar (8,0) se tiene para esa zafra en particular, indicando que solo fue necesario moler 8,0 toneladas de caña para fabricar una tonelada de azúcar con la ventaja económica implícita; en Guanacaste esa misma relación fue de 9,55 y en la Zona Norte de 10,50. El Pacífico Seco (Guanacaste + Pacífico Central) molió integralmente el 67,8% de toda la caña nacional a partir de la cual fabricó el 67,4% del azúcar con una media de concentración de 100,16 kg/t empleando madurantes.

Destaca la variabilidad de altitud en que se encuentran ubicadas las plantaciones comerciales en el país, la cual va desde 0 y hasta 1.550 msnm, lo que involucra

plantaciones con ciclos vegetativos de 18 a 24 meses desde siembra y hasta cosecha, lo que incorpora modelos productivos muy particulares. La diversidad regional se extiende también a los patrones climáticos, donde la lluvia (mm) y la temperatura (mínima y máxima) muestran alta variación que va en promedio desde 1.400 a 3.100 mm y de 20,9 a 27,6°C, lo que interviene los patrones de maduración natural y la condición fitosanitaria de las plantaciones. En materia de suelos las diferencias son también grandes y muy significativas, habiendo sido identificados en el país la presencia de 9 Ordenes y 16 Subordenes taxonómicos según criterio USDA (Chaves 2017c; Chaves y Chavarría 2017), que determinan de manera importante las características y propiedades fisicoquímicas y microbiológicas de los mismos lo que influye sobre su fertilidad y capacidad nutricional; además de la capacidad y potencial mecanizable, aptitud para el riego y el drenaje y otras características asociadas con la producción, los costos asociados, la productividad y la rentabilidad final.

### **Limitantes a la producción competitiva**

La alta rusticidad y capacidad adaptativa de la caña de azúcar se torna, como se anotó, en algunos casos limitante para los intereses empresariales y sectoriales en consideración de que las siembras se realizan, al permitirlo el cultivo, en condiciones inconvenientes para lograr alcanzar y satisfacer metas de productividad agroindustrial satisfactorias. En la práctica agrícola esto se manifiesta en cultivos con problemas para la producción de caña (toneladas de caña/ha) y la concentración de sacarosa (kg/tonelada de caña procesada), lo cual repercute en la cantidad de azúcar (toneladas de azúcar/ha) que pueda extraerse y fabricarse en el ingenio, como acontece ambientes productivos con:

- ❖ Temperaturas limitantes (mínimas altas y máximas extremas)
- ❖ Régimen de humedad caracterizado por déficit o exceso hídrico parcial o permanente en el suelo
- ❖ Baja luminosidad y alta nubosidad que afectan fotosíntesis, metabolismo e inducen floración
- ❖ Alta humedad ambiente

- ❖ Fuerte viento
- ❖ Problemas de maduración natural
- ❖ Relieves quebrados con pendientes elevadas que impiden o dificultan la mecanización rentable
- ❖ Indisponibilidad de agua para riego
- ❖ Ausencia de infraestructura de riego y/o drenaje
- ❖ Elevada compactación
- ❖ Alta pedregocidad superficial y sub superficial
- ❖ Alta acidez y alta saturación con Sesquióxidos de Fe y Al ( $R_2O_2$ )
- ❖ Estructuras de tenencia de la tierra pequeñas o lotes espacialmente dispersos que desaprovechan las economías de escala
- ❖ Suelos de baja fertilidad natural por baja CICE, insuficiencia en micronutrientes y baja materia orgánica
- ❖ Deficiente manejo tecnológico de las plantaciones comerciales
- ❖ Uso de semilla de baja calidad y pureza genética
- ❖ Baja o nula inversión tecnológica orientada a la producción
- ❖ Renovación de plantaciones distanciada y prolongada en tiempo (se realiza en periodos de más de cinco cosechas consecutivas)
- ❖ Siembra de variedades inadecuadas por baja adaptación, fitosanidad y potencial productivo agroindustrial cuestionable
- ❖ Condiciones fitosanitarias por naturaleza adversas por presencia de plagas y enfermedades
- ❖ Impedimento a la mecanización
- ❖ Elevado distanciamiento respecto a los puntos de recibo y/o procesamiento de la materia prima
- ❖ Mal estado de los caminos de acceso, extracción y conducción de la caña
- ❖ Proximidad a zonas urbanas que presionan por asuntos ambientales

El establecimiento de plantaciones comerciales con presencia de condiciones limitantes como las anotadas anteriormente, impide optimizar potenciales y el logro de altas productividades en estructuras rentables, sostenibles y competitivas.

## **Importancia del suelo en la nutrición y la producción**

No cabe la menor duda ni cuestionamiento sobre la importancia y relevancia del suelo como factor determinante de la producción, independientemente de la concepción y definición que quiera dársele para definirlo, como lo comentaran Chaves (2017c) y Chaves y Chavarría (2017). De la manera más simple, deben tenerse presentes independientemente del uso que se le dé al suelo, sus componentes sólidos, líquidos y gaseosos, constituidos por agua, aire, minerales y materiales orgánicos que ocupan la mayor parte del manto superficial, donde se dan de manera muy dinámica numerosos procesos naturales donde participan organismos vivos que dan por resultado adiciones, pérdidas, translocaciones y transformaciones; los cuales pueden además, ser alterados y modificados por interferencias antrópicas.

El suelo tiene por límite superior la atmósfera y como inferior la roca madre aunque esta frontera es difícil de definir y establecer, pasando gradualmente en profundidad para roca dura o materiales saprolíticos o sedimentos que no presentan actividad biológica. En sus extremos laterales se tienen cuerpos de agua con terrenos con espejos permanentes de agua y sobre rocas, cobertura con materiales detríticos aún no consolidados, donde el material subyacente decrece en profundidad en sus constituyentes orgánicos y riqueza mineral.

El suelo constituye el proveedor principal e insustituible de nutrimentos, al menos en el caso de la caña de azúcar, que la planta puede potencialmente absorber, lo cual acontece si se dan las condiciones favorables necesarias que lo faculten y habiliten; resulta por ello cierto que el hecho de estar estos contenidos y hasta disponibles en el suelo no asegura en absoluto su absorción, asimilación y utilización por la planta. Hay condiciones que limitan en grado variable esa capacidad y con ello la posibilidad de ser productivos y competitivos, como son entre otras: la infertilidad nutricional natural, limitaciones con la humedad por

insuficiencia o exceso, compactación, limitaciones físico-químicas severas al desarrollo radicular, condiciones de alta o muy baja acidez, baja actividad biológica, baja mineralización de la materia orgánica, presencia de piedras, relieve inconveniente para mecanizar, sobreexplotación y manejo inconveniente del mismo.



### **Tipos de suelos sembrados con caña en el país**

Tal como se anotó con anterioridad resulta relativamente fácil demostrar que los suelos donde se cultiva comercialmente la caña de azúcar en Costa Rica son por naturaleza muy heterogéneos y desiguales, por cuanto su origen geológico, los procesos pedogenéticos involucrados que participan en su formación, la influencia climática a que están sometidos y el manejo diferenciado que mantienen entre localidades, han consecuentemente generado suelos de muy diversas características y propiedades físicas, químicas y microbiológicas.

#### **a) Clasificación por Orden y Suborden taxonómico**

La categoría de **Orden** está definida con base en la presencia o no de los horizontes diagnóstico superficiales (*Epipedones*) y subsuperficiales (*Endopedones*) o de rasgos que reflejen los procesos de formación del suelo.

En una reciente e interesante aproximación que realizaron Chaves y Chavarría (2017), concluyeron que la distribución de los suelos cañeros costarricenses se podía ubicar según Orden taxonómico e importancia por el área cubierta y representada, de la siguiente manera: **Inceptisol** (24.337,28 ha = 36,93%), **Vertisol** (11.627,59 ha = 17,64%), **Ultisol** (11.625,34 ha = 17,64%), **Mollisol** (8.616,24 ha = 13,08%), **Entisol** (4.999,09 ha = 7,59%), **Andisol** (4.554,47 ha = 6,91%), **Alfisol**

(112,92 ha = 0,17%), **Histosol** (27,22 ha = 0,04%) y **Oxisol** el cual no se cuantificó por ser un área muy pequeña y poco significativa, para un total de **65.900,15 hectáreas**. No se consideró para fines productivos un área de suelos clasificados como **urbanos** no cultivados equivalente a 155,92 ha; como se nota fueron 9 los Ordenes identificados en el país. De la información anterior se concluye que los Ordenes Inceptisol, Vertisol y Ultisol representan conjuntamente el 72,21% (47.590,21 ha) de toda el área nacional sembrada con caña de azúcar en el país.

Al llevar la identificación y caracterización de los suelos a un nivel de mayor especificidad e identidad taxonómica a nivel de **Suborden**, se tiene que los mismos se definen y establecen con base en los regímenes de humedad (Údico, Ústico, Ácuico, etc.) presentes, la ausencia de horizontes diagnósticos, texturas arenosas y grado de descomposición de los materiales orgánicos. En esta categoría se encontró que la clasificación 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) **Aquents** (0,88%), 13) **Fluents** (0,19%), 14) **Ustalfs** (0,17%), 15) **Saprists** (0,04%) y 16) **Ustoxs** que no fue cuantificado; todo para un total de 16 Subordenes. Los Ustepts, Usterts y Ustolls concentran integralmente el 58,53% de los suelos cañeros costarricenses, correspondiente a un área de 38.575,98 ha.

En el Cuadro 2 se exponen y detallan las áreas por Orden y desagrega por Suborden la condición de los suelos sembrados con caña de azúcar en Costa Rica, lo que permite ubicar y contextualizar las clases de mayor cobertura y representatividad, que como se indicó anteriormente está dominada por los Ordenes Inceptisol (36,9%), Vertisol (17,6%), Ultisol (17,6%) y Mollisol (13,1%), para una cobertura conjunta del 85,2% correspondiente a 56.206, 45 ha que resulta incuestionablemente determinante. En el caso de los Subordenes la distribución fue mayor al existir más especificidad en las unidades descriptoras empleadas, dominando las siguientes: Ustepts (27,8%), Usterts (17,6%), Ustolls (13,1%),

Humults (9,4%) y Udepts (7,4%), para una representación del 75,3% equivalente a 49.628,9 hectáreas.

Cuadro 2.

Orden y Suborden taxonómico sembrado con caña de azúcar en Costa Rica.

N°	Orden Suelo <sup>1</sup>	Área sembrada (ha)	%	Suborden Suelo	Área sembrada (ha)	%
1	Alfisol	112,92	0,17	Ustalfs	112,92	0,17
2	Andisol	4.554,47	6,91	Udands	3.054,73	4,63
				Ustands	1.499,74	2,28
3	Entisol	4.999,09	7,59	Aquents	577,21	0,88
				Fluvents	126,17	0,19
				Orthents	4.295,71	6,52
4	Histosol	27,22	0,04	Saprists	27,22	0,04
5	Inceptisol	24.337,28	36,93	Aquepts	1.151,59	1,75
				Udepts	4.853,54	7,36
				Ustepts	18.332,15	27,82
6	Mollisol	8.616,24	13,08	Ustolls	8.616,24	13,08
7	Oxisol			Ustoxs	¿??	
8	Ultisol	11.625,34	17,64	Humults	6.199,38	9,41
				Udults	4.328,31	6,57
				Ustults	1.097,65	1,66
9	Vertisol	11.627,59	17,64	Usterts	11.627,59	17,64
	<b>Total</b>	<b>65.900,15</b>	<b>100</b>	<b>16</b>	<b>65.900,15</b>	<b>100</b>

**Nota:** Considera aunque no cuantifica el Orden OXISOL identificado en las localidades cañeras de La Ceniza de Pérez Zeledón y de Guayacán de Buenos Aires, Zona Sur.

<sup>1/</sup> Según Soil Survey Staff del United States Department of Agriculture (USDA 1999, 2014).

## b) Clasificación por región productora

En concordancia y correspondencia directa con la organización sectorial nacional que ubica en seis regiones las áreas productoras de caña (LAICA 1998, 2000; Chaves 2017b), el Cuadro 3 presenta la clasificación de los suelos según Orden y Suborden taxonómico siguiendo ese criterio territorial. Destacan por la magnitud del área cubierta los Subordenes Ustepts (34,6%), Usterts (31,2%) y Ustolls (23,4%) en la región de **Guanacaste** (Abangares, Bagaces, Cañas, Carrillo, Liberia, Nicoya y

Santa Cruz), la de mayor cultivo, para un significativo 89,2% conjunto. En el caso de la **Región Norte** (San Carlos y Los Chiles) se encontró que los Subordenes Udults (44,7%), Udepts (34,2%) y Aquepts (10,3%) representaron un 89,2% integral, valor similar al anterior pero con otros tipos de suelo. En el **Valle Central** (Alajuela, Atenas, Grecia, Naranjo, Palmares, Poás, San Mateo, San Ramón y Valverde Vega) se ubicó como dominantes a los suelos Ustands (34,6%), Ustepts (23,7%), Humults (19,4%) y Ustults (9,2%), con un significativo 86,9% conjunto. En el **Pacífico Central** (Esparza, Montes de Oro y Puntarenas) fueron los Ustepts (79,1%), asociados con Orthents (12,1%) y Ustults (4,2%) para un representativo 95,4% general. La **Zona Sur** (Buenos Aires y Pérez Zeledón) concentró (95,3%) de sus suelos cañeros en Humults, seguido por Fluvents (2,8%) y Ustepts (1,9%); además de los Ustoxs encontrados en el lugar pero no cuantificados, mostrando su relativa estabilidad al concentrarse casi en un solo Suborden. La región de **Turrialba-Juan Viñas** (Alvarado, Cartago, Jiménez, Paraíso y Turrialba) reporta suelos Udands (53,7%), seguido por Udepts (31,1%) y Humults (15,2%) para un 100%. Se incluye y anota la **Zona Atlántica** (Siquirres) como parte del criterio empleado en su estimación como lo indican Chaves y Chavarría (2017).

Como se infiere de la información anterior, los suelos costarricenses sembrados con caña destinada a la fabricación de azúcar presentan una alta variabilidad desde todos los criterios e indicadores edáficos que puedan establecerse con fines comparativos, que da lugar a la existencia de condiciones productivas muy disímiles y sobre las cuales no resulta conveniente, razonable ni prudente generalizar (Figura). El tratamiento y abordaje técnico de estos suelos debe conocer, respetar y conciliar esas diferencias para lograr potenciar las capacidades positivas que pudieran existir evitando o contornando las negativas contrarias a los intereses del empresario.



Fuente: Méndez y Bertsch (2012)

Cuadro 3.

Taxonomía de suelos dominantes en Costa Rica según ORDEN, SUBÓRDEN y REGIÓN PRODUCTORA de caña de azúcar.

Taxonomía de suelo <sup>1/</sup> según:		Región productora							Total	
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	Sapristis				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
<b>Total (ha)</b>		<b>36.806,06</b>	<b>5.677,22</b>	<b>4.321,93</b>	<b>9.632,97</b>	<b>4.511,85</b>	<b>4.948,12</b>	<b>2,00</b>	<b>65.900,15</b>	
<b>%</b>		<b>55,85</b>	<b>8,61</b>	<b>6,56</b>	<b>14,62</b>	<b>6,85</b>	<b>7,51</b>	<b>0,003</b>		<b>100</b>
N° Orden		6	3	5	5	4	3	1	9	
N° Subórden		8	5	9	9	4	3	1	16	

**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.

<sup>1/</sup> Según Soil Survey Staff del United States Department of Agriculture (USDA 1999, 2014).

### c) Caracterización taxonómica de los suelos

El sistema de clasificación taxonómica de los suelos está basado en los criterios establecidos por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, mejor conocido por sus siglas en inglés como USDA (United States Department of Agriculture) instaurado en 1999 por el Soil Survey Staff, con las actualizaciones posteriores a las que ha sido sujeto (USDA 2014).

**Cuadro 4.**  
Principales Ordenes y Subordenes de suelo dominantes en el sector cañero-azucarero costarricense.

Tipo de suelo <sup>1/</sup>	%	Características / propiedades
<b>ORDEN</b>	<b>92,9</b>	
<b>Inceptisol</b>	<b>36,9</b>	Suelos inmaduros con desarrollo pedogenético incipiente de origen diverso pero mayor al del Entisol, distinguiéndose una secuencia moderada de horizontes en el perfil; formados recientemente o con horizontes diagnóstico que se forman rápidamente. Características químicas y mineralógicas variadas y cambiantes según origen. Son relativamente poco problemáticos. Son una etapa juvenil de futuros Ultisoles y Oxisoles.
<b>Vertisol</b>	<b>17,6</b>	Suelos uniformes y muy oscuros, extremadamente arcillosos, con características físicas problemáticas. Su mecanización es difícil. Presentan arcillas expansivas tipo 2:1 Montmorrillonítico, con reacciones de agrietamiento (contracción-expansión) formando bloques masivos que se fracturan en grandes grietas. Tienen serios problemas de infiltración y percolación del agua en su perfil que los hacen inundables en invierno pero con extrema sequía en verano. Muy fértiles con pH altos y contenidos de Ca y Mg elevados, alta CICE, muy alta retención iónica, presentan retención de K. Las arcillas expansivas que remobilizan y mezclan o pueden homogeneizar el perfil. Presentes en régimen Ústico.
<b>Ultisol</b>	<b>17,6</b>	Suelos muy meteorizados, muy evolucionados y de gran desarrollo, viejos, rojos, de baja fertilidad, horizonte Argílico, con iluviación de arcilla. Predominan las arcillas 1:1 caoliníticas y los óxidos de Fe y Al en altas concentraciones de Fe y Al que son tóxicas para las raíces. Poseen pocas bases, sufren pérdida de Si, Ca, Mg, K y micronutrientes por lavado. Presentan altas pérdidas de N. Ácidos, con baja retención iónica y muy baja CICE, alta fijación de P, responden al encalado. Con excelentes condiciones físicas de estructura, agregación y drenaje natural. Es recomendable la aplicación de materia orgánica. Suelos tropicales y subtropicales presentes en régimen Ústico/Údico.
<b>Mollisol</b>	<b>13,1</b>	Suelos con excelentes características físicas y químicas; no presentan lixiviación excesiva. Suelos oscuros, con buena descomposición de materia orgánica gracias a los procesos de adición y estabilización (melanización). Bien estructurado. Saturación de bases superior al 50%. Muy productivos debido a su alta fertilidad.
<b>Entisol</b>	<b>7,6</b>	Suelos muy poco desarrollados en los cuales no es posible diferenciar una secuencia de horizontes en el perfil, por lo que carecen de identidad pedogenética. Inmaduros con pocas características de diagnóstico y algo de materia orgánica. Formados típicamente tras aluviones de los cuales dependen mineralmente. Poseen un horizonte A sobre el material parental por lo que exhiben propiedades de la roca madre. Poco profundos, inundables y muy susceptibles a sufrir erosión hídrica y/o eólica. Son pobres en materia orgánica y en general responden a los abonos nitrogenados.
<b>SUBORDEN</b>	<b>75,3</b>	

<b>Ustepts</b>	<b>27,8</b>	Suelos pertenecientes al Orden Inceptisol cuya característica principal es tener un régimen de humedad Ústico. Se localizan en todos los paisajes desde montaña hasta valles que se encuentran en clima templado seco y cálido seco.
<b>Usterts</b>	<b>17,6</b>	Vertisoles muy arcillosos con fuerte expansión al humedecerse y contracción al secarse. Presentan grietas que comprometen mayormente la masa del suelo, las cuales permanecen abiertas durante la época seca o si no están regados durante el año, al menos 90 días acumulativos al año.
<b>Ustolls</b>	<b>13,1</b>	Comprende los fértiles suelos Mollisoles que tienen régimen de humedad Ústico.
<b>Humults</b>	<b>9,4</b>	Ultisoles con elevado contenido en materia orgánica pero sin Hidromorfismo. Se encuentran en zonas montañosas con pendientes elevadas y con una alta tasa de precipitación, aunque con periodos de baja humedad en algunas estaciones.
<b>Udepts</b>	<b>7,4</b>	Son Inceptisoles con régimen de humedad Údico o Perúdico. En zonas con régimen Perúdico muchos de los suelos se forman sobre viejos depósitos. Algunos de esos suelos tenían o tienen vegetación forestal, pero algunos soportan arbustos o plantas herbáceas. Se han originado de diferentes materiales, varían en profundidad efectiva de superficiales a profundos, son bien drenados, de diferentes texturas, generalmente de fertilidad baja.
<sup>1/</sup> Según Soil Survey Staff del United States Department of Agriculture (USDA 1999, 2014).		

En el Cuadro 4 se establece un detalle descriptivo de los Ordenes y Subordenes dominantes entre los suelos sembrados con caña de azúcar, anotando aquellos considerados como principales virtud del área ocupada. En este caso los cinco Ordenes descritos: *Inceptisol*, *Vertisol*, *Ultisol*, *Mollisol* y *Entisol* representan un 92,9% del área cultivada la cual corresponde a 61.205,5 ha. En lo concerniente a los Subordenes esa representación correspondió a los *Ustepts*, *Usterts*, *Ustolls*, *Humults* y *Udepts*, los cuales ocupan el 75,3% del área cultivada con caña correspondiente a 49.628,9 ha, lo que es bastante significativo.

#### **d) Regímenes de humedad del suelo**

Por su relevancia y aplicación en la interpretación de la clasificación de los suelos a nivel de Suborden, se describen seguidamente los principales regímenes de humedad: **a) Ácuico** (*L. aqua = agua*): es un régimen de reducción en un suelo que está virtualmente libre de oxígeno disuelto porque está saturado con agua. Saturado por tiempo suficiente para provocar anaerobiosis. Algunos suelos están saturados con agua pero hay oxígeno disuelto debido a que el agua está en movimiento o porque el medio no es favorable para los microorganismos. No se conoce qué duración de la saturación es la necesaria para tener este régimen de humedad, pero esta deberá ser al menos de unos pocos días, porque está implícito en el concepto que el oxígeno está virtualmente ausente; **b) Údico** (*L. udus = húmedo*): La sección de control de humedad no está seca en alguna parte por un período tan largo como 90 días acumulativos en años normales. No requieren riego.

Es común en suelos de climas húmedos que tienen una precipitación bien distribuida; tienen suficiente lluvia en verano, para que la cantidad de agua almacenada más la lluvia sea aproximadamente igual o exceda a la evapotranspiración o tenga suficiente agua en invierno para recargar a los suelos y enfriarlos, y veranos nublados, como en las áreas costeras. El agua se mueve hacia abajo a través del suelo en algún tiempo en los años normales. Caracteriza los suelos de climas húmedos con una distribución regular de la lluvia a lo largo del año. Hay disponibilidad de agua durante todo el año y **c) Ústico** (*L. ustus = quemado, seco*): Es intermedio entre el régimen Arídico y el Údico. Con lluvia durante época de crecimiento de las plantas. Con humedad entre 50-75% del año o húmeda 90 días consecutivos y seca < 45 días en verano. Régimen de humedad que está limitado, pero esa humedad está presente cuando existen condiciones favorables para el crecimiento de las plantas. En regiones tropicales y subtropicales con clima monzónico, con una o dos estaciones secas, el verano y el invierno son poco significativos. En esas regiones el régimen de humedad es Ústico, si tiene al menos una estación lluviosa de 3 meses o más. De características similares al Xérico pero el período de lluvias coincide con la estación cálida (USDA 1999, 2014).

### **¿Qué necesita la caña?**

La planta de caña como todo ser vivo requiere satisfacer sus procesos vitales para lo cual el agua, el aire, la luz y los minerales son esenciales para activar y operar sus mecanismos fisiológicos, generar energía, sintetizar enzimas, proteínas, carbohidratos, hormonas y otros componentes encargados de llevar a cabo su metabolismo con lo cual crece y se desarrolla. Cualquier obstrucción, limitación o impedimento en los mismos se verá reflejado en los indicadores biométricos básicos de interés agro productivo, que en el caso de la caña serán el tonelaje de caña, la concentración de sacarosa y la cantidad de azúcar fabricada; así como también su condición fitosanitaria general.

Estudios realizados por Alpízar (1976), Chaves (1986) y Alfaro y Chaves (1999) han comprobado y demostrado la elevada capacidad extractora que posee la planta de caña de azúcar y que explican parcialmente su rusticidad y capacidad adaptativa a

condiciones difíciles. Alpízar (1976) encontró diferencias importantes en el grado de fertilidad al comparar terrenos con monocultivo de caña por muchos años, respecto a otros alledaños sembrados con gramíneas (pastos), verificando que el efecto extractante de la caña provocó una mayor acidificación y un empobrecimiento general de los mismos. Esta capacidad viene fuertemente asociada a su excepcional sistema radicular (Figura 2) articulado en varios subsistemas con funciones específicas de soporte y absorción, el cual posee una gran capacidad exploratoria en el suelo, tanto en sentido vertical (profundidad) como lateral (longitud) que le permite tomar agua y nutrimentos en puntos del suelo donde otras plantas no llegan. Esto explica su tolerancia a la sequía y la fertilización deficiente; así como también el motivo del por qué la caña agota los suelos cuando su manejo no es el mejor.



**Figura 2. Cepa y sistema radicular de la caña**

Señala Chaves (1986) sobre este tema, que *“La caña al igual que todos los organismos, elabora sus tejidos a partir de varios constituyentes: Carbohidratos, Grasas, Proteínas y Nucleoproteínas. De aquí que la planta requiere cantidades elevadas de nutrimentos, especialmente Carbonoso (C), Oxígeno (O), Hidrógeno (H), Fósforo (P), Potasio (K), y Azufre (S) para construir sus tejidos; además de pequeñas cantidades de hierro (Fe), Magnesio (Mg), Zinc (Zn), Cobre (Cu), Boro (B), y frecuentemente molibdeno (Mb), para la elaboración de sus enzimas; algunas*

veces Sodio (Na), Calcio (Ca) y a menudo otros nutrimentos para estos y otros fines; otros elementos, tales como el Sílice (Si), Aluminio (Al) y Cloro (Cl), puede ser necesarios y están presentes en los tejidos de la planta, no obstante sus efectos específicos son aún poco claros. La planta de caña de azúcar mantiene una elevada demanda de elementos nutritivos para satisfacer sus requerimientos de producción; esta demanda es mayor en aquellos casos donde el ciclo vegetativo es largo, debido a que los niveles de producción se incrementan significativamente. Esto deber ser satisfecho con una mayor extracción y asimilación.”

En una amplia revisión de literatura realizada por el mismo autor (Chaves 1986), se reporta que en promedio la planta de caña extrae y absorbe más potasio (K) que cualquier otro nutrimento; al cual le siguen el nitrógeno (N) y el Silicio (Si) casi en una proporción de 2:1 en favor del K como lo indica el Cuadro 5.

**Cuadro 5.**  
Rango y promedio mundial de extracción de nutrimentos (Macro y Micro) por la caña de azúcar.

Nutrimento	N° Reportes	Rango	Amplitud	Promedio
N *	54	0,44 - 2,24	1,80	0,93 -
P	53	0,06 - 0,70	0,64	0,27 (0,62)
K	54	0,27 - 4,10	3,83	1,65 (1,98)
Ca	26	0,12 - 1,10	0,98	0,34 (0,48)
Mg	28	0,10 - 0,50	0,40	0,25 (0,41)
S	19	0,12 - 0,58	0,46	0,29 (0,87)
Si	1	--	--	0,93 (1,99)
Fe**	13	2 - 155	153	42
Mn	19	1 - 37	36	11,6
Zn	19	2,3 - 9	6,7	4,4
Cu	22	0,05 - 27,1	27,1	6,5
B	19	0,04 - 2,5	2,5	1,7

Al	1	--	--	0,3
Na	1	--	--	6
Mo	2	--	--	0,02

**Fuente:** Chaves (1986, 1999a).

Referido a: \* kg/tm y \*\* g/tm de caña. Entre paréntesis se anota la forma absorbible del elemento.

Como se concluye de la información anterior generada a partir de una gran cantidad de información de origen mundial referida exclusivamente a los tallos y no a valores foliares ni de raíz, los modelos dominantes de respuesta a la extracción nutricional por parte de la caña de azúcar son los siguientes para el caso de los Macro y Micro nutrimentos:

**K > N = Si > Ca > S > P > Mg**

**Fe > Mn > Cu > Na > Zn > B > Al > Mo**

No se califica en la anterior información lo concerniente a la esenciabilidad de los nutrimentos, sobre todo en el caso del Si, Al y Na, lo cual está actualmente en activa revisión, reconsideración y posible recalificación de criterios.

### **Manejo de la fertilidad del suelo**

No hay duda alguna en reconocer y aceptar que el manejo de la fertilidad y control de la degradación del suelo constituyen acciones agronómicas muy importantes y relevantes, particularmente considerando la enorme heterogeneidad y variabilidad que los mismos poseen a nivel nacional, como ha quedado suficientemente demostrado en el presente documento.

Este manejo implica revisar, valorar y atender con criterio técnico varios asuntos estratégicamente trascendentes para favorecer el éxito productivo de la plantación y financiero de la empresa, entre los que están los siguientes:

- a) Es determinante para el éxito empresarial la formulación visionaria de un **Plan de Manejo Integral del Suelo** que defina, articule y secuencie las actividades previstas desarrollar durante el ciclo productivo anual, proyectado y visualizado a varios años sucesivos; se analizan tanto las labores necesario y recomendable realizar, como las que efectivamente se efectuarán en concordancia con la capacidad tecnológica y financiera.
- b) El Plan de Manejo Integral implica considerar y planificar aspectos fundamentales asociados con la preparación, el acondicionamiento, el mejoramiento y la protección del factor suelo.
- c) La preparación debe considerar elementos determinantes como son la fragilidad, friabilidad y profundidad del suelo; así como la razonabilidad, dimensión e intensidad de los equipos por emplear en su mecanización.
- d) Evitar o en su caso resolver posibles problemas de compactación resultan necesarios y muy sanos, en consideración de que evitan limitantes al desarrollo y exploración radicular, como también el acúmulo con el consecuentemente “encharcamiento” del agua que pueden provocar inundación, permitiendo por el contrario la infiltración y la percolación del agua a través del perfil.
- e) Para el acondicionamiento de los suelos es necesaria la determinación previa del grado de fertilidad existente mediante la realización de un muestreo físico-químico completo de los suelos a nivel superficial y subsuperficial; así como de ser posible y viable un muestreo foliar.
- f) La medida anterior permite desagregar, individualizar y ubicar el estado de fertilidad actual y específico de las diferentes unidades productivas (lotes) de la finca, lo que favorece un tratamiento y manejo específico.
- g) Con la información del análisis físico químico es factible proceder con buen criterio técnico a efectuar un manejo prudente y efectivo del suelo apegado a razonamientos válidos vinculados con el grado y saturación de acidez presente, el contenido de los componentes nutricionales (Macro y Micro nutrimentos), a partir de lo cual pueden emplearse acondicionadores y

mejoradores del suelo, sean enmiendas (cal o azufre según grado de acidez) u otras sustancias afines.

- h) El uso de materiales orgánicos resulta muy apropiado y conveniente para mejorar la condición física y nutricional del suelo; los abonos verdes y los residuos agroindustriales son útiles y de alto valor agregado nutricional.
- i) También se infiere de sus resultados la condición eutrófica (alta) o distrófica (baja) de los suelos dependiendo de su contenido en bases y con ello de su saturación, lo que determina y define la aplicación mediante el uso de fertilizantes apropiados a la situación particular.
- j) La fertilización fosfatada correctiva resulta esencial durante la siembra y renovación de plantaciones comerciales, por lo que debe ser atendida con especial interés.
- k) Los contenidos de Micronutrientes definirán su estatus y estado de disponibilidad para las plantas y con ello las eventuales necesidades de adición correctiva y mejoradora que sean pertinentes incorporar, sea vía suelo o foliar.
- l) Las relaciones iónicas (catiónicas y aniónicas) tanto del suelo como foliar deben ser mantenidas en las proporciones y balances nutricionalmente convenientes y recomendados (Chaves 2012a).
- m) No puede dejarse de lado efectuar las medidas preventivas y correctivas que favorezcan la preservación e impidan las pérdidas de suelo inducidas por factores hídricos y eólicos; además de las provocadas por la degradación y las malas prácticas agronómicas.
- n) En el caso de la caña de azúcar la rotación de cultivos ha resultado muy positiva y productivamente favorable, particularmente la de arroz-caña con una rotación de 2 años arroz y cinco caña.
- o) La administración del suelo no puede ni debe desvincularse de las otras actividades, prácticas y labores de manejo propias y particulares del cultivo, razón por la cual deben implementarse planes y programas que de manera articulada generen un resultado integral positivo.

### **Requerimientos nutricionales nacionales**

El resultado de la investigación desarrollada en el país aunada a la amplia experiencia comercial recabada con el tiempo en el campo cañero nacional, han permitido conocer y definir con relativa exactitud, la respuesta de los principales elementos nutricionales requeridos por la planta de caña, lo cual sin embargo carece aún en la mayoría de los casos de la especificidad necesaria.

Hay publicada en el país mucha literatura sobre el tópico que aborda y expone resultados logrados en diferentes regiones y localidades productoras de caña, en las cuales se ha evaluado la respuesta a la fertilización en tipos de suelo y condiciones edafoclimáticas diferentes, elementos nutricionales esenciales, fuentes diversas, dosis variables, se ha medido también la respuesta de las variedades principales en uso comercial, como también las interacciones iónicas, el fraccionamiento de nutrientes, vías de aplicación opcionales, entre otros factores vinculados, tal como lo señalan los estudios más recientes referentes publicados por Chaves (1988), Chaves y Alvarado (1994), Angulo y Chaves (1999), Chaves *et al* (1991), Chaves (1983, 1996, 1997, 1999ab, 2003, 2010ab, 2012abc, 2016abef), Chaves *et al* (1999), Chaves y Barrantes (2007), Chaves y Araya (2007), Villalobos y Chaves (2006), entre muchas otras donde se anotan pruebas más detalladas.

Complementariamente hay también numerosa literatura referida a la corrección y adecuación de los suelos ácidos mediante el empleo de materiales calcáreos (Chaves 1990, 1993, 2008; Chaves y Barrantes 2007) y también sulfatos (Chaves 1988, 1991, 1999ac, 2003; Chaves *et al* 1991), tema de gran relevancia por su impacto sobre las expectativas de producción e incremento de la productividad agroindustrial, particularmente en los suelos del Orden Ultisol, Andisol e Inceptisol. El empleo de residuos y derivados de la agroindustria también han sido desarrollados virtud de su reconocida capacidad y potencial nutricional, como acontece con el uso de la cachaza y las cenizas como abono orgánico y la vinaza por su aporte de Potasio al suelo (Chaves 1985abc, 2001; Rodríguez *et al* 1999).

Es importante señalar que toda la gestión y proyección institucional desarrollada en el campo de la investigación y la asistencia técnica especializada, que se desarrolla sectorialmente en materia de nutrición y fertilización de la caña de azúcar,

pretenden y procuran optimizar la labor productiva desde la perspectiva tecnológica, minimizar los costos asociados, maximizar la eficiencia y la rentabilidad, todo dentro de los principios que orientan las buenas prácticas agrícolas y la eco eficiencia en el campo productivo de la caña de azúcar, encaminando con ello al sector hacia la ansiada competitividad comercial. En este cometido resulta obligada, insustituible y necesaria la gestión que el productor y el empresario cañero realicen en su propio beneficio (Chaves 2017d, 2013b; Chaves y Bermúdez 1999).

### ¿Qué se requiere y qué se aplica?

Sobre este tema es mucho lo que se ha propuesto, disertado y recomendado pues como se ha suficientemente comentado, la fertilización óptima de la caña de azúcar resulta difícil de lograr y alcanzar en el país por razones obvias, como son: 1) alta heterogeneidad físico química y microbiológica natural de los suelos cultivados, 2) condiciones climáticas inestables y muchas veces adversas, 3) entornos productivos muy disímiles y algunos hasta inadecuados para producir con eficiencia, 4) limitado manejo agronómico de las plantaciones, 5) fertilización mayoritariamente insuficiente y/o deficiente, 6) oferta comercial compleja, excesiva, de calidad cuestionable y relativamente poco contributiva al generar confusión en el demandante, 7) muy baja o nula inversión en tecnología productiva y con valor agregado, 8) desequilibrio en el manejo tecnológico de las plantaciones al *“dejar de hacer algo para hacer otra labor”*, 9) percepción errónea de que la fertilización puede reducirse y hasta sustituirse y 10) la rentabilidad de la agroindustria para el productor poco motiva a invertir.

Pese a las manifiestas dificultades y limitaciones existentes en la materia, la agroindustria nacional ha logrado generar una **superficie de respuesta a la adición de nutrimentos al suelo**, que de manera desagregada por región ubica y aproxima las necesidades y posible respuesta a su aplicación, orientando de manera importante el manejo de las plantaciones comerciales en este factor de la producción tan determinante.

El Cuadro 6 expone de manera general para cada una de las regiones productoras de caña y nutrimento esencial vinculado, los ámbitos de respuesta obtenidos experimentalmente, los cuales se anotan individualmente en cada caso para los ciclos vegetativos de caña planta y caña soca o retoño. La información se complementa con otra de igual relevancia para lograr una interpretación basada en criterios técnicos valiosos y verificables, como son los Ordenes y Subordenes de suelo dominantes y las variedades mayoritariamente sembradas durante el año 2016, con lo cual pueden establecerse las asociaciones y correlaciones pertinentes.

Cuadro 6.

**Caracterización edáfica del entorno agro productivo costarricense según región productora de caña de azúcar.**

Región	Clase de suelo dominante (%)		Variedad principal <sup>1/</sup>	Ciclo veget <sup>2/</sup>	Superficie de respuesta (kg/ha) <sup>3/</sup>					t/ha
	Orden	Suborden			N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	MgO	SO <sub>4</sub>	CaCO <sub>3</sub>
Guanacaste	Inceptisol - 35,0 Vertisol - 31,2 Mollisol - 23,4	Ustepts - 34,6 Usterts - 31,2 Ustolls - 23,4	CP 72-2086 B 82-333 NA 85-1602	P S	80-150 100-150	60-100 50-100	80-100 80-140	0	80	0
Pacífico Central	Inceptisol - 79,1 Entisol - 15,8 Ultisol - 5,1	Ustepts - 79,1 Orthents -12,1 Ustults - 4,2	CP 72-2086 B 82-333 CP 72-1210	P S	80-150 100-150	60-100 50-100	80-100 80-140	0	80	0-1
Zona Norte	Ultisol - 47,3 Inceptisol - 44,6 Entisol - 5,5	Udults - 44,7 Udepts - 34,2 Aquepts - 10,3	PR 80-2038 B 77-95 LAICA 01-604	P S	110-150 120-150	120-200 100-150	130-180 130-160	40	40	0-1,5
Valle Central	Andisol - 38,8 Ultisol - 29,1 Inceptisol - 24,2	Ustands - 34,6 Ustepts - 23,7 Humults - 19,4	RB 86-7515 SP 78-4764 Mex 79-431	P S	120-180 130-180	130-160 130-160	120-160 150-200	40	40	0-1,5
Turrialba	Andisol - 53,7 Inceptisol - 31,1 Ultisol - 15,2	Udands - 53,7 Udepts - 31,1 Humults - 15,2	B 76-259 H 77-4643 B 77-95	P S	120-180 130-180	120-200 100-150	120-160 150-200	40	40	0-1,5
Zona Sur	Ultisol - 95,3 Entisol - 2,8 Inceptisol - 1,9	Humults - 95,3 Fluvents - 2,8 Ustepts - 1,9	LAICA 04-825 Q 96 LAICA 05-805	P S	120-150 120-150	150-200 180-200	130-180 150-180	40	40	1-2
Zonas altas	Andisol - 100	Udands - 67,1 Ustands - 32,9	H 77-4643 LAICA 04-250 RB 86-7515	P S	140-300 140-300	160-200 130-150	160-200 160-250	60	60	0,5-2

TOTAL NACIONAL	Inceptisol - 36,9	Ustepts - 27,8	CP 72-2086	P S	80-300 100-300	60-200 50-200	80-200 80-250	0 - 60	40 -80	0 - 2
	Vertisol - 17,6	Usterts - 17,6	B 82-333							
	Ultisol - 17,6	Ustolls - 13,1	RB 86-7515							

<sup>1/</sup> Censo variedades 2016    <sup>2/</sup> P= Planta S= Soca    <sup>3/</sup> Con base en resultados de investigación y experiencias comerciales

Se ratifica nuevamente a partir de la rica y valiosa información contenida en ese Cuadro, las marcadas diferencias que existen entre regiones y entre localidades de una misma región, lo cual introduce dificultad para interpretar y recomendar con exactitud las necesidades de fertilización propia y particular de cada condición. Al factor edáfico y climático debe agregársele para tener mayor objetividad otro factor igual o más determinante que los citados, y es el referente a la variedad de caña sembrada comercialmente, pues como se infiere, existe también mucha variabilidad en el origen, características, propiedades, atributos y necesidades de los mismos (Chaves 2016d). El factor genético es definitivamente muy importante en la respuesta que la caña de azúcar reporta a la adición de nutrimentos mediante la fertilización, tal vez inclusive más determinante que el mismo suelo, como lo ha demostrado la investigación en ese campo.

### Fertilización foliar

En la actualidad mucho se investiga pero más se ofrece en cuanto a opciones comerciales para la nutrición empleando otras vías no convencionales, como es el caso de la fertilización foliar, lo cual, sin embargo, no ha logrado aún satisfacción y estabilidad en sus resultados, dejando dudas válidas sobre su efectividad real. En algunos casos esa certeza es mayor como acontece con micronutrimentos, particularmente como sucede con el Zinc (Zn), el Silicio (Si) y el Boro (B), cuyas respuestas en muchos casos responden más a condiciones y situaciones muy particulares y hasta coyunturales. Sobre este tema se está investigando en el país sin obtener aún resultados satisfactorios dotados de consistencias que fundamenten una recomendación responsable, técnicamente sólida y bien cimentada, que le redunde al agricultor en incrementos tangibles y mejoras significativas en la calidad de su materia prima.

Parte de la dificultad de abordar y desarrollar este tema estriba en la enorme cantidad y diversidad de fuentes nutricionales ofertadas y existentes en el comercio, como lo demostrara LAICA-DIECA (2013, 2015, 2016, 2017) en investigaciones desarrolladas a nivel de campo e invernadero; lo cual confunde y complica su valoración en consideración de que muchas de sus recomendaciones están basadas en conceptos y principios teóricos con poca o ninguna investigación de campo que demuestre sus bondades. El tema no hay duda es muy importante por lo que sigue aún pendiente de respuestas contundentes y sobre todo consistentes, lo que justifica seguir investigando.

### **Conclusiones**

Con fundamento en lo comentado y analizado puede inferirse y concluirse lo siguiente:

- 1) Las nociones de nutrición y fertilización deben conceptualmente diferenciarse y pragmáticamente optimizarse, incorporando de manera integral todos los nutrimentos requeridos por la planta de caña en forma suficiente, efectiva y oportuna. Es claro que puede fertilizarse pero no necesariamente nutrirse la planta.
- 2) Fertilizar de manera incompleta y desproporcionada se aleja del principio de la deseada y necesaria nutrición integral y balanceada, fundamento de cualquier pretensión de aumento de la productividad.
- 3) La agroindustria azucarera presenta mucha heterogeneidad y disparidad en sus regiones, localidades, entornos y patrones productivos, lo que se traslada a las condiciones edáficas y requerimientos nutricionales, dificultando con ello el manejo de la fertilización comercial del cultivo.
- 4) La alta y manifiesta heterogeneidad prevaleciente en las condiciones productivas, conduce prudente y razonablemente a procurar evitar las generalizaciones, obligando consecuentemente a buscar una mayor especificidad, lo que se traduce en recomendaciones donde las fuentes, fórmulas, dosis fertilizantes, épocas y formas para su adición muy variables.

- 5) La planta de caña de azúcar dispone virtud de su condición genética de una gran rusticidad, que le aporta a su vez una enorme capacidad adaptativa a condiciones difíciles, lo cual sin embargo resulta en alto grado contraproducente para los intereses productivos, ya que permite y favorece un manejo menos intenso en el uso de insumos, entre ellos los fertilizantes.
- 6) Los Ordenes y Subordenes taxonómicos prevaletentes en los suelos cañeros revelan diferencias sustantivas de fondo en cuanto a características y propiedades físicas, químicas y biológicas.
- 7) Las marcadas y profundas diferencias existentes en cuanto a tipos de suelos, interpretado a partir de los Ordenes (9) y Subordenes (16) taxonómicos identificados sembrados con caña, obliga a establecer y operar criterios y recomendaciones diferenciadas para su correcto manejo.
- 8) Una nutrición óptima se traduce y expresa inequívocamente en incrementos significativos de productividad agroindustrial; lo que dicho en forma inversa, no pueden esperarse productividades altas, estables, rentables, sostenibles y competitivas sin una nutrición óptima y equilibrada.
- 9) Las superficies de respuesta generadas a partir de la investigación y la experimentación, resultan importantes, valiosas y apropiadas, aunque insuficientes para aportar y fundamentar una recomendación de fertilización óptima y consistente en resultados, lo que justifica y sugiere investigar más.
- 10) El sector dispone de información importante y experiencias exitosas sobre el uso de enmiendas aplicadas al suelo, que deben ser aprovechadas en el acondicionamiento previo de los suelos para su efectiva fertilización.

### **Recomendaciones**

Con base en lo conocido y requerido es recomendable atender las siguientes sugerencias y recomendaciones con el fin de mejorar este importante factor de productividad:

- 1) Resulta imperativo asociar, vincular y armonizar los Ordenes y Subordenes taxonómicos de suelo disponibles, con los programas de fertilización del cultivo; esto aoperado a nivel regional y local.
- 2) Debe efectuarse un estudio con cobertura nacional que permita aumentar el muestreo orientado a elevar la identidad taxonómica de los suelos cañeros y, con ello, la posibilidad de precisar y detallar aún más en su descripción y definición de potenciales productivos.
- 3) Virtud de su trascendencia y utilidad, se considera sectorial e institucionalmente estratégico generar indicadores técnicos representativos y sugestivos, que favorezcan implementar acciones orientadas a promocionar y promover la agricultura de precisión operada en lo específico en una agricultura de sitio.
- 4) Los criterios de fertilización mecanizada deben orientarse al uso de elementos modernos vinculados con la agricultura de precisión, donde se trabaje con fuentes (tasa fija) en vez de fórmulas (tasa variable) como tradicionalmente se ha hecho.
- 5) Sigue pendiente de realizar la investigación necesaria que permita definir y establecer niveles críticos nutricionales en suelo y planta (foliar), que favorezcan la interpretación correcta de contenidos nutricionales.
- 6) En consideración de la confusión, relativa efectividad y poca consistencia mostrada por la fertilización vía foliar, se recomienda profundizar en el tema para tomar y tener posición técnica institucional al respecto.
- 7) Resulta estratégico y de alto retorno brindar un tratamiento especial, preferencial y de promoción a la ejecución de prácticas que favorezcan el desarrollo del sistema radicular.
- 8) Es necesario virtud de sus excelentes resultados avanzar y profundizar en la investigación asociada con la materia orgánica y el uso de abonos verdes.
- 9) El estudio de la compactación de los suelos debe desarrollarse con carácter prioritario debido a su fuerte impacto negativo y los excelentes resultados obtenidos cuando se aplican las acciones correctivas del caso.

- 10) La eco eficiencia debe ser adoptada como criterio obligado en el campo de los fertilizantes y la nutrición del cultivo.

### Literatura citada

- 1) Alpízar Quesada, R. 1976. **Fertilidad de Suelos Cañeros Costarricenses**. Tesis Ing. Agr. San José, Universidad de Costa Rica, Facultad de Agronomía. 120 p.
- 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) Angulo, A.; Chaves, M. 1999. **Interacción de la fertilización orgánica / inorgánica sobre los rendimientos agroindustriales de la caña de azúcar. Promedio de cuatro cosechas. Cañas, Guanacaste**. Congreso Nacional Agronómico y de Recursos Naturales, 11, Congreso Nacional de Entomología, 5, Congreso Nacional de Fitopatología, 4, Congreso Nacional de Suelos, 3, Congreso Nacional de Extensión Agrícola y Forestal, 1, San José, Costa Rica, 1999. Memoria: *Recursos Naturales y Producción Animal*. San José, Colegio de Ingenieros Agrónomos: EUNED, julio. Volumen III. p: 75.
- 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.
- 5) Chaves Solera, M.A. 1985a. **Las vinazas en la fertilización de la caña de azúcar**. Boletín Informativo DIECA (Costa Rica) Año 3, Nº 21, San José. 4p. También en: *El Agricultor Costarricense* 43(9-10):174-177. 1985.
- 6) Chaves Solera, M.A. 1985b. **Diagnóstico sobre la producción y utilización de los residuos agrícolas y agroindustriales en Costa Rica**. Taller

- Regional sobre Residuos Agrícolas y Agroindustriales en América Latina y el Caribe. Santiago, Chile, 1984. Memorias. Santiago de Chile, PNUMA/CEPAL/GEPLACEA, julio. p: 155-321.
- 7) Chaves Solera, M.A. 1985c. **Algunas nociones sobre la producción de residuos agroindustriales y la legislación vigente en Costa Rica para regular sus efectos contaminantes.** Taller Regional Sobre Residuos Agrícolas y Agroindustriales en América Latina y El Caribe. Santiago, Chile, 1984. Memorias. Santiago de Chile, PNUMA/CEPAL/GEPLACEA, julio. 25 p.
  - 8) Chaves Solera, M.A. 1986. **Requerimientos, extracción y remoción de nutrimentos por la caña de azúcar.** Boletín Informativo DIECA (Costa Rica) Año 4, N° 29, San José. p: 1-2.
  - 9) 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.
  - 10) Chaves Solera, M.A. 1990. **Características de calidad de los correctivos de acidez del suelo.** San José, Costa Rica. LAICA-DIECA, octubre. 12 p.
  - 11) Chaves Solera, M.A. 1991. **Características y uso potencial del yeso en la agricultura costarricense.** Revista del Colegio de Ingenieros Agrónomos (Costa Rica) 4(7):18-20.
  - 12) 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.
  - 13) 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.
  - 14) 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.
- 15) 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.
  - 16) Chaves Solera, M. 1997. **El Nitrógeno y la caña de azúcar.** Congreso de ATACORI “*Roberto Mayorga C.*”, 11, San Carlos Costa Rica, 1997. Memoria. San José, ATACORI, octubre-noviembre. Tomo I p: 39-65.
  - 17) 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.
  - 18) Chaves Solera, M. 1999b. **El Nitrógeno, Fósforo y Potasio en la caña de azúcar.** San José, Costa Rica. LAICA-DIECA, setiembre. 130 p.
  - 19) Chaves, M. 1999c. **La práctica del encalado de los suelos cañeros en Costa Rica.** 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.
  - 20) Chaves, M.; Bermúdez, A. 1999. **Por una mayor conciencia ambiental en el sector azucarero.** Congreso de ATACORI “*Randall E. Mora A.*”, 13, Carrillo, Guanacaste, Costa Rica, 1999. Memoria. San José, Asociación de Técnicos Azucareros de Costa Rica (ATACORI), setiembre. p: 274-278.
  - 21) 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.
  - 22) Chaves Solera, M. 2001. **Estimación de la cantidad de residuos y derivados producidos por la agroindustria azucarera costarricense.**

- Seminar on Development of Environmentally Compatible Polymers from Biowaste. San José, Costa Rica, 2001. Proceedings. San José, UNA/POLIUNA/NIMC/Fukui University of Technology. February - March. p: 92-110.
- 23) 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.
- 24) Chaves Solera, M.; Barrantes Mora, J.C. 2007a. **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.
- 25) Chaves S., M.; Araya V., A. 2007b. **Caracterización preliminar de suelos cultivados con caña de azúcar en la zona norte de Costa Rica: *cantones de San Carlos y Los Chiles***. 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.
- 26) Chaves Solera, M. 2008. **Corrección y enclamiento de suelos cañeros: *una buena opción nutricional en tiempos difíciles***. Grecia, Alajuela, Costa Rica. LAICA-DIECA, noviembre. Presentación Electrónica en Power Point. 95 Láminas.
- 27) Chaves Solera, M. 2010a. **Dinámica del Nitrógeno en el suelo y la planta de caña de azúcar**. San José, Costa Rica. LAICA-DIECA, noviembre. Presentación Electrónica en Power Point. 57 Láminas.
- 28) Chaves Solera, M. 2010b. **El manejo del suelo y el empleo del Potasio en la agroindustria azucarera de Costa Rica**. Congreso Salvadoreño de la Ciencia del Suelo, 1, San Salvador, El Salvador. Memoria Digital. Asociación Salvadoreña de la Ciencia del Suelo (ASCS), 10-13 de marzo. Presentación Electrónica en Power Point. 179 Láminas.

- 29) Chaves Solera, M. 2011. **Impacto de las lluvias y las inundaciones sobre la caña de azúcar en Costa Rica.** San José, Costa Rica. LAICA-DIECA, setiembre. 14 p.
- 30) 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.
- 31) 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.
- 32) Chaves Solera, M. 2012c. **Sector azucarero costarricense: una agroindustria dinámica en activa evolución y crecimiento.** Congreso Azucarero Nacional ATACORI “Alex Soto Montenegro”, 19, Condovac La Costa, Guanacaste, Costa Rica, 2011. Memoria. San José, Asociación de Técnicos Azucareros de Costa Rica (ATACORI), 4 y 5 de octubre del 2012. Presentación Electrónica en Power Point. 115 Láminas.
- 33) Chaves Solera, M. 2013a. **Productividad agroindustrial: desafío permanente del sector cañero azucarero costarricense.** San José, Costa Rica. LAICA-DIECA, agosto. Presentación Electrónica en Power Point. 184 Láminas.
- 34) Chaves Solera, M. 2013b. **Buenas prácticas agrícolas aplicadas en caña de azúcar en Costa Rica.** Tucurrique, Jiménez, Costa Rica. LAICA-DIECA, abril. Presentación Electrónica en Power Point. 78 Láminas.
- 35) Chaves Solera, M.; Chavarría Soto, E. 2013. **¿Cómo se distribuye y dónde se cultiva territorialmente la caña destinada a la fabricación de azúcar en Costa Rica?** Congreso de la Asociación de Técnicos Azucareros de Centroamérica (ATACA), 19, Congreso de la Asociación de Técnicos Azucareros de Costa Rica (ATACORI), 20, “MSc Marco A. Chaves Solera”. Centro de Conferencias del Hotel Wyndham Herradura, Heredia, Costa Rica,

2013. Memoria. San José, Asociación de Técnicos Azucareros de Costa Rica (ATACORI), 11-13 de setiembre. Tomo I. p: 179-203.
- 36) Chaves Solera, M. 2014a. **Entorno comercial regional y competitividad azucarera costarricense**. San José, Costa Rica. LAICA-DIECA, noviembre. Presentación Electrónica en Power Point. 50 Láminas.
- 37) Chaves Solera, M. 2014b. **Competitividad azucarera: *un concepto necesario materializar***. San José, Costa Rica. LAICA-DIECA, noviembre. Presentación Electrónica en Power Point. 94 Láminas.
- 38) Chaves Solera, M.A. 2015. **Errores y omisiones técnico-administrativas que sacrifican productividad y cuestan dinero en la agroindustria azucarera**. San José, Costa Rica. LAICA-DIECA, febrero. 16 p.
- 39) Chaves Solera, M.A. 2016a. **Estudio de 9 fuentes de Nitrógeno realizados en 6 regiones productoras de caña de azúcar de Costa Rica: *compendio de resultados***. Liberia, Guanacaste, Costa Rica. Abril. Presentación Electrónica en Power Point. 107 Láminas.
- 40) Chaves Solera, M.A. 2016b. **Resultados de investigación con el uso del nitrógeno en la caña de azúcar en Costa Rica**. Congreso de la Asociación de Técnicos Azucareros de Latinoamérica y El Caribe (ATALAC), 10, y Congreso de la Asociación de Técnicos Azucareros de México (ATAM), 38. Memoria Digital y Resúmenes. Setiembre 2016, Veracruz, México. 17 p.
- 41) Chaves Solera, M.A. 2016c. **Competitividad: *imperativo insoslayable para que el agro continúe vigente y crezca***. Revista Germinar, Órgano Informativo Oficial del Colegio de Ingenieros Agrónomos de Costa Rica, Año 6, Edición N° 19, mayo. p: 6-7.
- 42) Chaves Solera, M.A. 2016d. **La mejora genética de la caña de azúcar en Costa Rica**. Congreso Nacional Agropecuario, Forestal y Ambiental, 14, Centro de Conferencias del Hotel Wyndham Herradura, Heredia, Costa Rica, 2016. Memoria Digital. San José, Costa Rica, Colegio de Ingenieros Agrónomos de Costa Rica, octubre 27 al 29. 28 p.
- 43) Chaves Solera, M.A. 2016e. **Resultados de investigación con el uso del nitrógeno en la caña de azúcar en Costa Rica**. Congreso de la Asociación

- de Técnicos Azucareros de Latinoamérica y El Caribe (ATALAC), 10, y Congreso de la Asociación de Técnicos Azucareros de México (ATAM), 38. Memoria Digital y Resúmenes. Setiembre 2016, Veracruz, México. 26 p.
- 44) Chaves Solera, M.A. 2016f. **El Nitrógeno como factor de productividad agroindustrial de la caña de azúcar en Costa Rica.** Congreso Nacional Agropecuario, Forestal y Ambiental, 14, Centro de Conferencias del Hotel Wyndham Herradura, Heredia, Costa Rica, 2016. Memoria Digital. San José, Costa Rica, Colegio de Ingenieros Agrónomos de Costa Rica, octubre 27 al 29. 9 p.
- 45) Chaves Solera, M.; Bermúdez Acuña, L.; Méndez 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.
- 46) Chaves Solera, M.A. 2017a. **Productividad agropecuaria: *ruta correcta hacia la competitividad.*** Revista Germinar, Órgano Informativo Oficial del Colegio de Ingenieros Agrónomos de Costa Rica, Año 7, Edición N° 20, febrero. p: 4-5.
- 47) Chaves Solera, M.A. 2017b. **¿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.
- 48) Chaves Solera, M.A. 2017c. **Taxonomía de los suelos sembrados con caña de azúcar en Costa Rica: *Ordenes y Subordenes presentes.*** Congreso de Técnicos Azucareros de Centroamérica (ATACA), 21 y Congreso de la Asociación de Técnicos Azucareros de Honduras (ATAHON), 20, San Pedro Sula, Honduras, 2017. Memorias. San Pedro Sula, Honduras, ATACA/ATAHON, agosto 22 al 25, Centro de Convenciones Copantl. 14 p.
- 49) Chaves Solera, M.A. 2017d. **El agricultor: *gestor y protagonista de su propio mejoramiento.*** Revista Germinar, Órgano Informativo Oficial del Colegio de Ingenieros Agrónomos de Costa Rica, Año 7, Edición N° 21, junio. p: 5-6.

- 50) Chaves Solera, M.A. 2017e **Productividad agropecuaria: ruta correcta hacia la competitividad**. Revista Germinar, Órgano Informativo Oficial del Colegio de Ingenieros Agrónomos de Costa Rica, Año 7, Edición N° 20, febrero. p: 4-5.
- 51) Chaves Solera, M.A. 2017f. **La Caña de Azúcar en el Censo Nacional Agropecuario Costarricense Año 2014: presentación de resultados**. San José, Costa Rica. LAICA-DIECA, marzo. 41 p.
- 52) Chaves Solera, M.A.; Chavarría Soto, E. 2017. **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.
- 53) LAICA. 1998. **LEY ORGÁNICA DE LA AGRICULTURA E INDUSTRIA DE LA CAÑA DE AZÚCAR N° 7818 del 22 de Setiembre de 1998**. San José, Costa Rica, LAICA. 117 p.
- 54) LAICA. 2000. **Decreto N° 28665 – MAG Reglamento Ejecutivo de la Ley Orgánica de la Agricultura e Industria de la Caña de Azúcar N° 7818 del 2 de setiembre de 1998**. San José, Costa Rica. 140 p.
- 55) 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.
- 56) 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.
- 57) 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.
- 58) LAICA-DIECA. 2017. **Informe de Resultados. Programa de Agronomía. Año 2016**. Grecia, Costa Rica. LAICA-DIECA, marzo. 95 p.
- 59) Montenegro Ballesteros, J.; Chaves Solera, M. 2009. **Emisión de gases por la caña de azúcar: propuesta metodológica para realizar un balance de carbono**. Congreso Azucarero ATACORI “Cooperativa Agrícola Industrial El

- General R.L.*”, 17, Colegio de Ingenieros Agrónomos, San José, Costa Rica, 2009. Memoria. San José, Asociación de Técnicos Azucareros de Costa Rica (ATACORI), 2 y 3 de setiembre del 2009. 18 p.
- 60) Montenegro Ballester, J.; Chaves Solera, M. 2011. **Contribución del sector cañero a la mitigación del cambio climático.** 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. 14 p. Conferencia Electrónica en Power Point. 54 Láminas.
- 61) Montenegro Ballester, J.; Chaves Solera, M. 2012. **Estimación de la emisión Óxido Nitroso (N<sub>2</sub>O) por región productora de caña de azúcar en Costa Rica Primera aproximación.** Congreso Tecnológico DIECA 2012, 5, Coopevictoria, Grecia, Alajuela, Costa Rica. Memoria. Departamento de Investigación y Extensión de la Caña de Azúcar (DIECA), 5,6 y 7 de setiembre del 2012. 15 p. Presentación Electrónica en Power Point. 35 Láminas.
- 62) Rodríguez, M.; Chaves, M.; Mojica, F. 1999. **Estudio del efecto químico valorado a nivel de laboratorio de la aplicación de seis dosis crecientes de Vinaza en cuatro profundidades, en dos tipos de suelo: *Dystric haplustand* y *Ustic humitropet*.** 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: 76.
- 63) 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.
- 64) 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 15 jul. 2017. Disponible en: [http://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE\\_DOCUMENTS/nrcs142p2\\_051546.pdf](http://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/nrcs142p2_051546.pdf).

65) Villalobos Méndez, C.; Chaves S., M. 2006. **Efecto de la aplicación fraccionada del N-P-K, sobre los rendimientos agroindustriales de la caña de azúcar, cultivada en un Inceptisol de Esparza, Puntarenas. Promedio de 2 cosechas.** Congreso de la Asociación de Técnicos Azucareros de Centroamérica (ATACA), 16, Congreso de la Asociación de Técnicos Azucareros de Costa Rica (ATACORI), 16. Heredia, Costa Rica, 2006. Memoria. San José, Asociación de Técnicos Azucareros de Costa Rica (ATACORI), agosto. Tomo II. p: 798-806.