

Taxonomía de los suelos sembrados con caña de azúcar en Costa Rica:

Ordenes y Subordenes presentes.

Marco A. Chaves Solera¹

Introducción

El uso de la tierra para la producción agropecuaria está relacionado con la utilización óptima y apropiada de los recursos naturales, entre los cuales el suelo representa uno de los factores considerados importantes y determinantes para el éxito de la agro empresa. Es sin embargo conocido, que las diferencias entre suelos, aún sin conocer a profundidad la materia, resultan muchas veces muy evidentes y notorias virtud de la presencia de características y propiedades diferenciadoras que los tipifican y distancian.

Es así como los agricultores reconocen con bastante facilidad un suelo arcilloso de otro arenoso, un terreno rojo de otro amarillo, negro, gris o de tonalidades intermedias, también suelos pedregosos, friables o compactados, la presencia de piedra o la facilidad de inundarse, atributos entre muchos otros que van directamente asociados a características relacionadas con la facilidad para preparar el terreno para la siembra, el grado de fertilidad potencial y con ello su capacidad productora de caña, la necesidad de adicionar calcáreo y corregir acidez o, por el contrario, favorecerla, también con el riego y el drenaje. En fin, son varios y muy diversos los criterios diferenciadores fácilmente verificables en el campo que nos demuestran como principio general, que los suelos son diferentes entre sí, lo que se vincula directamente con su capacidad y disposición para cultivar caña de azúcar.

Es a partir de ese momento, cuando el poder caracterizar, tipificar y clasificar los suelos se torna importante, pues permite conocer propiedades, ubicar potenciales e identificar limitantes, lo cual resulta determinante al momento de planificar con criterio técnico calificado la siembra y el manejo de una plantación. De acuerdo con Chaves y Chavarría (2017b) *“La taxonomía de los suelos corresponde en su esencia a un sistema calificado como multicatórico de clasificación, fundamentado en los conceptos de los cuerpos del suelo. Se argumenta como motivo primordial para justificar el hecho de clasificar los suelos, el poder organizarlos en grupos de tal manera que se favorezca integrar sus características y propiedades, en principio generales y luego particulares, y con ello facilitar su manejo mediante un tratamiento individualizado.”*

Son varios los sistemas (USDA, FAO/UNESCO, Ruso, Brasileño, Canadiense, Australiano, Francés) que se han empleado en el mundo, como señalaran Chaves y Chavarría (2017b), para clasificar los suelos en unidades similares y homogéneas que faciliten su conjunción y/o diferenciación. En general, las unidades de un sistema de clasificación se definen por medio de propiedades del suelo que pueden ser observadas, detectadas y medidas permitiendo definir horizontes e indicadores diagnósticos

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. Agosto del 2017.

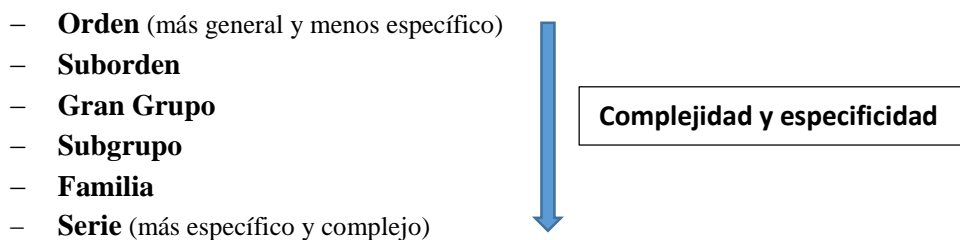
reveladores, lo cual genera un sistema en principio comprobable y objetivo en cuanto a su aplicabilidad.

Los sistemas son por naturaleza dinámicos y variables, ya que su estructura permite incorporar ajustes y modificaciones parciales (como las ampliaciones realizadas últimamente), sin alterar sus contenidos básicos; lo cual se da en la medida que se vayan adquiriendo nuevos conocimientos, siendo además comprensivo pues acepta clasificar todos los suelos. La contribución más significativa proviene de definir límites cuantitativos de clase y cuantificar al elemento suelo para su caracterización utilitaria.

Al preguntarle alguna vez al destacado investigador Charles E. Kellog, respecto a si la clasificación norteamericana de suelos (USDA) en algún momento se fijaría de manera precisa y definitiva, éste respondió *“la clasificación será fija cuando dejemos de ser curiosos, cuando dejemos de aprender y cuando los usuarios dejen de tener nuevos problemas.”*; esto ratifica la dinámica y movilidad que mantienen los sistemas de clasificación de suelos en el mundo.

En el caso particular de Costa Rica se adoptó y aplica desde hace muchos años el sistema y claves propuestas por el **Soil Survey Staff** del **United States Department of Agriculture** (USDA 1999, 2014); el cual de acuerdo con Chaves y Chavarría (2017b) *“... introdujo el concepto de horizontes diagnósticos, cuyo empleo se ha impuesto y generalizado mundialmente. Un horizonte diagnóstico es un horizonte definido morfométricamente, con la mayor precisión posible, con datos de campo y de laboratorio, para su utilización en la clasificación del suelo.”* El sistema está formulado para que la taxonomía y la cartografía sean de aplicación sencilla y directa, ya que cada clase define cuantitativamente a los cuerpos de suelos y genera unidades cartográficas cuantificadas, lo que permite que los mapas diseñados puedan ser interpretados de forma rápida, precisa y universal.

El sistema de clasificación del USDA (Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de Norteamérica) consta de seis categorías que varían significativamente en su grado de generalización y complejidad, lo cual permite individualizar los suelos para su posterior diferenciación, caracterización y tipificación, las cuales se describen como:



Conforme aumenta el grado de especificidad se incrementa consecuentemente la cantidad de características diferenciadoras que definen, tipifican e identifican cada una de las categorías. El sistema taxonómico USDA declara 12 Ordenes de suelo: Alfisol, Andisol, Aridisol, Entisol, Espodosol, Gelisol, Histosol, Inceptisol, Mollisol, Oxisol, Ultisol y Vertisol (USDA 2014). De esta forma, es viable simplificar y agilizar los procesos de vinculación, asociación y correlación entre suelos, lo cual no se restringe ni limita apenas a los ámbitos de producción agrícola, pecuaria y forestal; sino que aplica a todo tipo de suelos, teniendo efecto sobre otros usos alternos del mismo, como acontece con la infraestructura de construcción de ciudades, carreteras, zonas urbanas, bosques, zonas protegidas, parques recreativos, vertederos, etc.; como se infiere, el sistema es amplio, objetivo y muy dinámico.

Objetivos del estudio

Los objetivos primarios pretendidos alcanzar por el presente documento son los siguientes:

General:

Ubicar geográfica y territorialmente de manera aproximada los Ordenes y Subordenes taxonómicos de suelos de las principales regiones productoras de caña destinada a fabricar azúcar en Costa Rica.

Específicos:

- a) Distinguir los suelos sembrados con caña de azúcar en el país de acuerdo con los Ordenes y Subordenes taxonómicos predominantes.
- b) Conocer la ubicación, distribución espacial y territorial de los Ordenes y Subordenes taxonómicos de suelos dominantes según región productora de caña.
- c) Determinar y ubicar geográficamente por su extensión los Ordenes y Subordenes taxonómicos más importantes para la producción de caña en el país.
- d) Aportar información taxonómica básica que favorezca y permita la correcta toma de decisiones en cuanto a manejo competitivo de plantaciones comerciales de caña.
- e) Aportar los elementos que sirvan como base para la formulación de programas de nutrición y fertilización apegados a principios taxonómicos y de fertilidad natural, acordes con el potencial y capacidad actual de los suelos.

Metodología

El método empleado para lograr la localización territorial y la apreciación taxonómica de los suelos cañeros a nivel de Orden y Suborden, se basó en primera instancia en información de carácter secundario contenida en los mapas digitalizados diseñados y hechos públicos recientemente por parte de varias instituciones nacionales (IICA-UCR-CIA 2016); los cuales partieron de un levantamiento general en escala 1:200.000 basado en los datos obtenidos a partir de 6.584 observaciones producto del análisis de 1.524 perfiles distribuidos por todo el territorio nacional. La excelente y necesaria iniciativa taxonómica permitió generar un mapa digital, consistente en una resolución gráfica del suelo que expone sus relaciones cuantitativas con su entorno, determinadas mediante observaciones de campo y pruebas de laboratorio recopiladas e integradas en una base de datos georreferenciada (Sandoval y Mata 2014, 2015).

Contando con la ubicación y distribución geográfica específica de los diferentes tipos de suelos a nivel de Orden y Suborden del país, y con la información de interés de dicha base de datos; se procedió seguidamente a vincular, asociar, integrar y articular mediante la superposición de la información institucional catastrada y digitalizada disponible en LAICA (escala 1:200.000), concerniente a las áreas sembradas con caña destinada a la fabricación de azúcar. Esta acción realizada con base en información catastral digitalizada, permitió ubicar territorialmente las regiones productoras de caña, facilitando identificar las categorías de suelos existentes en cada localidad (Chaves 2017ab; Chaves y Chavarría 2013). La existencia de mapas georreferenciados y digitalizados por ambas partes (IICA-UCR-LAICA) permitió realizar la ubicación geográfica y taxonómica de los suelos y las plantaciones de caña con un alto grado de exactitud. La información se presenta en este caso a nivel de región productora de caña, aunque la misma está también disponible a nivel de provincia y cantón en

concordancia con lo que establece la organización y legislación vigente en el sector azucarero (LAICA 1998, 2000).

Zonas y ambientes de cultivo

Por su formación, origen y naturaleza geológica, pedogenética y condición climática, el territorio costarricense posee condiciones fisiográficas y de suelos muy diversas, disimiles y heterogéneas que se manifiestan en su agricultura, donde factores determinantes como la fertilidad potencial y actual del suelo, el relieve y con ello el potencial mecanizable, el clima y sus elementos, las condiciones de maduración de la planta y fitosanitarias (presencia de plagas y enfermedades) del cultivo, las necesidades y posibilidades de riego y/o drenaje, la capacidad de adaptación de las variedades, las particularidades de los ciclos vegetativos (12-24 meses) y la calidad de la materia prima. También el riesgo ambiental y la disponibilidad de mano de obra calificada, entre muchas otras, son muy desiguales lo que inevitablemente se proyecta sobre el agronegocio.

Esta elevada heterogeneidad se expresa irremediable e insoslayablemente en el potencial de productividad agroindustrial y producción viables de alcanzar y, por ende, en los costos e ingresos unitarios y totales asociados, definiendo con ello el grado de rentabilidad final y competitividad de la empresa cañero-azucarera en el entorno nacional y externo (Chaves 2017c, 2016, 2014, 2013). Esta realidad induce y provoca que entre las diferentes regiones y localidades productoras de caña nacionales, existan grandes diferencias en todos los sentidos, factores y elementos (bióticos y abióticos) que se expresan y manifiestan en la producción agroindustrial, como señalaran y demostraran Chaves *et al* (2016).

En Costa Rica la caña destinada a la fabricación de azúcar y no a otros usos alternativos muy comunes en el país como son la elaboración de dulce y el empleo con fines pecuarios, se siembra en las 7 provincias, 32 cantones y estima en 103 distritos, los cuales pueden reunirse y ubicarse en seis regiones productoras bien caracterizadas y tipificadas (Costa Rica 2007, 2015; Chaves y Chavarría 2017ab, 2013; Chaves 2017bd). Como apuntara sucintamente Chaves (2017b) en cuanto a ubicación geográfica de las plantaciones de caña para fabricar azúcar en Costa Rica, *“La información geográfica generada ratifica la amplia dispersión del cultivo por todo el territorio nacional, con latitudes extremas de 11° 01' 57” Norte en el distrito de Los Chiles y más baja de 09° 01' 05” Norte en la localidad cañera de Potrero Grande, pertenecientes a los cantones de Los Chiles, Alajuela y Buenos Aires de Puntarenas, respectivamente. Las longitudes extremas se ubican por su parte entre las coordenadas 85° 38' 56” Oeste en el distrito de Sardinal y 83° 10' 40” Oeste en Potrero Grande, cantones de Carrillo de Guanacaste y Buenos Aires de Puntarenas, respectivamente. En materia de altitudes se reportan plantaciones a 4 metros sobre el nivel del mar (msnm) en los distritos de Puntarenas y Chomes, provincia de Puntarenas; y más elevados con 1.441 msnm en Cervantes, cantón de Alvarado, provincia de Cartago. En la práctica agrícola se han identificado plantaciones a nivel del mar (0 msnm) en Puntarenas y próximas a 1.550 msnm en la sección alta de Juan Viñas, con cercanía al distrito de Pacayas de Alvarado en Cartago.”*

Zonas productoras de caña de azúcar

El Cuadro 1 muestra y caracteriza agroindustrialmente las seis regiones productoras de caña de azúcar más importantes de Costa Rica, ratificando las grandes diferencias entre factores bióticos y abióticos que existen en cualquier indicador referente que se emplee, independientemente de su naturaleza. La región Atlántica es muy pequeña, apenas de 2,00 ha por lo que apenas se cita y contabiliza. 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 2017bd).

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

Región Productora	Ingenios (N°)	Área Sembrada (ha)	Altitud (msnm)	Total *					Lluvia anual (mm)	Temperatura media (°C)	N°	
				Caña Procesada (tm)	%	Azúcar Fabricada (Bultos 96°)	%	Sacarosa (kg 96°/tm)			Orden	Sub Orden
Guanacaste	3	36.806	7-150	2.566.443,8	59,1	268.613,38	59,4	104,66	1.400	27,6	6	8
Pacífico Central	1	5.735	0-340	378.207,8	8,7	36.176,15	8,0	95,65	1.500	27,0	3	5
Valle Central	4	4.421	160-1.360	364.606,5	8,4	37.072,60	8,2	101,68	2.600	23,3	5	9
Zona Norte	2	9.633	30-660	490.910,6	11,3	46.760,56	10,3	95,25	3.100	24,8	5	9
Zona Sur	1	4.512	180-870	288.364,9	6,6	36.034,30	8,0	124,96	2.500	24,5	4	4
Turrialba	2	4.949	480-1.550	255.356,8	5,9	27.498,92	6,1	107,69	2.700	20,9	3	3
Total Nacional	13	66.056	0-1.550	4.343.890,40		452.155,91		104,09	2.300	24,7	9	16
Porcentaje					100		100					

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

Clases Taxonómicas de suelo presentes

Una vez hecha y verificada la superposición, contextualización y ubicación geográfica de la información de áreas sembradas con caña de azúcar en relación a las clases de suelos identificados como dominantes en el país, se generó la información taxonómica a nivel de Orden y Suborden que se presenta seguidamente.

En el Cuadro 2 se expone un detalle general de las áreas anotadas en hectáreas (ha), correspondientes a los 9 Ordenes y 16 Subordenes de suelo identificados en Costa Rica sembrados con caña de azúcar (Chaves y Chavarría 2017ab), las cuales para alcanzar una mayor especificidad se comentan seguidamente de manera específica e independiente.

1) Ordenes taxonómicos de suelo

De los 12 Ordenes de suelo que estructuran y conforman el Sistema de Clasificación del Soil Survey Staff del United States Department of Agriculture (USDA 1999, 2014), en el sector cañero-azucarero costarricense se encontró siembras de caña en 9 de ellos, lo que representó un 75%, ratificando la alta dispersión del cultivo y variabilidad de los suelos cañeros nacionales. Solamente no se encontraron en el país suelos del Orden Espodosol sembrados con caña; así como tampoco en los Ordenes Geisol y Aridisol que por sus características especiales extremas no se encuentran ni reportan en Costa Rica. Como se indicó, los Ordenes se diferencian por la presencia o ausencia de horizontes diagnóstico o características que se muestran en el grupo dominante de procesos formadores de suelo en que se han desarrollado. El Cuadro 3 expone un detalle de la distribución de los 9 Ordenes identificados según región productora de caña de azúcar.

En orden de importancia virtud del área sembrada, la distribución según Orden taxonómico reportado fue el siguiente: 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 (no se cuantificó por ser un área muy pequeña), para un total de 65.900,15 ha. No se consideró un área de suelos clasificados como Urbanos no cultivados equivalente a 155,92 ha (Chaves y Chavarría 2017b).

La mayor heterogeneidad edáfica valorada, cuantificada e interpretada por el número de Órdenes de suelo presentes como expresión de diversidad, se encontró en la región cañera de Guanacaste con la presencia de seis (37,5%) Ordenes diferentes, seguida por el Valle Central y la Zona Norte con cinco (31,3%) c/u, la Zona Sur con cuatro (25,0%), el Pacífico Central y Turrialba-Juan Viñas con apenas tres (18,8%) c/u. En el Atlántico (Limón) se identificó solo un Orden (6,3%). Como se infiere no hay una relación directa entre el área sembrada con caña y el número de Ordenes de suelo existentes.

Regionalmente fue Guanacaste donde más Ordenes de suelo se identificaron con un total de seis, como lo muestra el Cuadro 3, siendo los principales los Inceptisoles con una representación del 35,0%, seguidos por los Vertisoles (31,2%) y los Mollisoles (23,4%), que conjuntamente significaron el 89,6% de toda la región. En el Pacífico Central fueron Inceptisoles (79,1%), Entisoles (15,8%) y Ultisoles (5,1%). En el Valle Central por su parte dominaron los Ordenes Andisol (38,8%), Ultisol (29,1%) e Inceptisol (24,1%) para un importante 92,0% general. La caña de la Zona Norte está sembrada en suelos Ultisoles (47,3%), Inceptisoles (44,6%) y Andisoles (2,3%) para un 94,2% total. La Zona Sur concentra sus plantaciones en suelos del Orden Ultisol en un 95,3%, asociado con

Entisoles (2,8%), Inceptisoles (1,9%) y Oxisoles. En Turrialba-Juan Viñas las siembras se ubicaron predominantemente en suelos de naturaleza volcánica Andisoles (53,7%), Inceptisoles (31,1%) y Ultisoles (15,2%). En la Zona Atlántica se encontraron Inceptisoles en un 100%.

2) Subórdenes taxonómicos de suelo

Una valoración e interpretación similar a la anterior pero aplicada en este caso a la categoría de Suborden, revela que de los 68 Subordenes clasificatorios que contiene el sistema general del Soil Survey Staff (1999, 2014), en el sector cañero costarricense se identificó un total de 16 lo que representa un 23,5%, que es en definitiva muy significativo como expresión de variabilidad. Los criterios de diferenciación aplicados en los Subordenes varían de un Orden a otro y son creados en primera instancia para ajustarse al criterio utilizado para establecer el Orden. Fueron las regiones del Valle Central y la Zona Norte las que más Subordenes observaron con nueve c/u (56,3%), seguida por la región guanacasteca con ocho (50,0%), la región del Pacífico Central con cinco (31,2%), la Zona Sur con cuatro (25,0%), la zona cañera de Turrialba-Juan Viñas con tres (18,9%) y Zona Atlántica con uno (6,2%), como lo muestra el Cuadro 4.

Por su relevancia en área (ha) cultivada con caña de azúcar, específicamente los subordenes se presentaron (Cuadro 4) de la siguiente forma: 1) Ustepts (27,82%), 2) Usterts (17,64%), 3) Ustolls (13,07%), 4) Humults (9,41%), 5) Udepts (7,36%), 6) Udults (6,57%), 7) Orthents (6,52%), 8) Udands (4,63%), 9) Ustands (2,28%), 10) Aquepts (1,75%), 11) Ustults (1,67%), 12) Aquepts (0,88%), 13) Fluvents (0,19%), 14) Ustalfs (0,17%), 15) Saprists (0,04%) y 16) Ustoxs que no fue cuantificado. Los Ustepts, Usterts y Ustolls concentran conjuntamente el 58,53% de los suelos cañeros costarricenses.

El Cuadro 4 detalla la distribución por área (ha) de los Subordenes para cada una de las seis regiones productoras de caña del país, destacando por su magnitud los Ustepts (34,6%), Usterts (31,2%) y Ustolls (23,4%) en Guanacaste, para una representación conjunta del 89,2% en apenas esos tres de los ocho Subordenes identificados en el lugar. Le siguieron los Subordenes Udults (44,7%), Udepts (34,2%) y Aquepts (10,3%) para un 89,2% integral en la Zona Norte y los Ustands (34,6%), Ustepts (23,7%) y Humults (19,4%) en el Valle Central, para un significativo 77,7% conjunto. En el Pacífico Central fueron los Ustepts los suelos dominantes con un 79,1%, asociado con Orthents (12,1%) y Ustults (4,2%) para un determinante y representativo 95,4% general. La Zona Sur concentró en un 95,3% sus suelos cultivados con caña de azúcar en el Suborden Humults, seguido por Fluvents (2,8%) y Ustepts (1,9%); además de los Ustoxs que no fueron cuantificados pero si diagnosticados en el lugar. La región productora de Turrialba-Juan Viñas reporta dominio de los suelos pertenecientes al Suborden Udands (53,7%), seguido por Udepts (31,1%) y Humults (15,2%), respectivamente. En la Zona Atlántica se identificó el Suborden Udepts en un 100%.

Se demuestra y ratifica nuevamente con los resultados anteriores, la importante heterogeneidad que sobre este importante factor de la producción existe en Costa Rica y, que debe por ello, contar con la atención debida a efecto de optimizar su empleo, más aún cuando sus características presentan limitantes que determinan el éxito productivo y empresarial. La responsabilidad de las instituciones pero sobre todo del productor como gestor y protagonista directo de su propio mejoramiento debe ser máxima, como lo aseverara con vehemencia Chaves (2017a).

¿Qué importancia y utilidad tiene la información taxonómica de suelos?

La respuesta a esta inquietante pero válida pregunta resulta obvia para un taxónomo de suelos, un pedólogo o un edafólogo, pero no tanto para un agricultor, motivo por el cual resulta interesante su abordaje desde una perspectiva pragmática y utilitaria. No hay duda que la organización y el conocimiento de la estructura y propiedades del suelo ha sido uno de los aspectos de mayor interés para enfrentarse con posibilidades reales de éxito a muchos de los problemas agronómicos, que como este, inciden de manera directa y determinante sobre la productividad agroindustrial de la caña de azúcar (Chaves 2017c, 2016, 2014, 2013).

Entre otras razones, el conocimiento taxonómico de los suelos permite: 1) identificar, organizar, diferenciar y agrupar con criterio certero semejanzas y diferencias, 2) favorece tomar la decisión correcta sobre el mejor uso y manejo de un suelo independientemente de su destino, 3) establece los vínculos y relaciones (sinérgicas y antagónicas) fundamentales entre los factores suelo-agua-planta-atmósfera, 4) es primordial en la planificación y ejecución de actividades asociadas con el cultivo como son el empleo de variedades promisorias potencialmente adaptables, época y forma de siembra, riego y drenaje, preparación, fertilización y conservación del suelo, 5) aporta elementos decisivos para el empleo y uso óptimo de equipos para la mecanización y la automatización del cultivo, 6) es básico como criterio decisorio en la agricultura de precisión como acontece con la fertilización a tasa variable, 7) favorece la identificación y el diseño de mapas con la ubicación de zonas de productividad diferencial, 8) constituye la base y punto de partida de cualquier iniciativa seria en materia de mejora productiva agroindustrial de la caña de azúcar y 9) su conocimiento resulta elemental en el manejo sostenible y ecológicamente equilibrado de la agricultura comercial competitiva, entre otros.

En la agricultura moderna, los levantamientos pedológicos y la organización taxonómica de los suelos son y serán siempre necesarios e imprescindibles; los cuales deberán ser virtud de su especialidad ejecutados con criterio técnico especializado, con detalles adecuados en cada caso, siempre en función de las necesidades particulares de cada actividad productiva de manera que posibiliten la selección de las áreas con las mejores características y propiedades que favorezcan la mayor productividad agroindustrial y permitan el retorno del capital invertido, satisfaciendo con ello una relación costo-beneficio satisfactoria sin perder de vista su trascendente papel social.

Conclusiones

A partir de lo determinado en el estudio puede concluirse lo siguiente:

- 1) La utilización de los recursos naturales tiene como protagonista preponderante al sector agropecuario en lo que respecta al uso del recurso suelo; siendo su conocimiento de gran importancia en la actualidad por razones productivas, económicas, sociales y ambientales.
- 2) En Costa Rica la caña destinada a la fabricación de azúcar se ha localizado en las 7 provincias, 32 cantones y estima 103 distritos, los cuales pueden reunirse y ubicarse en seis regiones productoras bien caracterizadas y tipificadas en cuanto a su entorno productivo.
- 3) Se identificaron 9 Ordenes y 16 Subordenes de suelo sembrados con caña de azúcar en Costa Rica, lo que representa porcentualmente un 75% y 23,5% de los anotados y contenidos originalmente en el sistema taxonómico del USDA (12 y 68, respectivamente), lo que revela y demuestra la importante heterogeneidad, dispersión y variabilidad del suelo como factor determinante de la producción.

- 4) No existe ni se establece una clara relación directa entre el área cultivada con caña de azúcar y el número de Ordenes y Subordenes de suelo identificados; la variabilidad es en este caso el factor dominante.
- 5) Según orden de importancia en relación con el área sembrada, la distribución como Orden taxonómico fue el siguiente: 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 (no se cuantificó por área muy pequeña), para un total de 65.900,15 ha. Además se ubicaron 155,92 ha de suelos urbanos no sembrados con caña.
- 6) Regionalmente en Guanacaste se identificaron como Ordenes principales los Inceptisoles con una representación de su área del 35,0%, seguido por los Vertisoles (31,2%) y los Mollisoles (23,4%); en el Pacífico Central fueron los Inceptisoles (79,1%). En el Valle Central dominaron los Andisoles (38,8%), en la Zona Norte los Ultisoles (47,3%), en la Zona Sur los Ultisoles (95,3%), en la región de Turrialba-Juan Viñas los suelos Andisoles (53,7%) y en la Zona Atlántica los Inceptisoles (100%).
- 7) A nivel de Suborden fueron las regiones del Valle Central y la Zona Norte las que más variabilidad y cantidad observaron, seguidas por la región cañera de Guanacaste.
- 8) Los Subordenes se manifestaron en el área sembrada con caña de azúcar, como sigue: 1) Ustepts (27,82%), 2) Usterts (17,64%), 3) Ustolls (13,07%), 4) Humults (9,41%), 5) Udepts (7,36%), 6) Udults (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) Fluvents (0,19%), 14) Ustalfs (0,17%), 15) Saprists (0,04%) y 16) Ustoxs que no fue cuantificado. Los Ustepts, Usterts y Ustolls representan conjuntamente el 58,53% de los suelos cañeros costarricenses.
- 9) Por área sembrada (ha), los principales Subordenes presentes en Guanacaste fueron Ustepts (34,6%), Usterts (31,2%) y Ustolls (23,4%). En el Pacífico Central concurren los Ustepts (79,1%); en la Zona Norte Udults (44,7%) y en el Valle Central los Ustands (34,6%). En la región de Turrialba-Juan Viñas dominaron los Udands (53,7%) y en la Zona Sur los Humults (95,3%); además de los Ustoxs que no se cuantificaron. En la Zona Atlántica se identificó el Suborden Udepts en un 100%.
- 10) Integralmente son suelos del Orden y Suborden Inceptisol (Ustepts), Vertisol (Usterts), Ultisol (Humults) y Mollisol (Ustolls), los que más área sembrada (67,95% \approx 44.775,4 ha) con caña de azúcar reportan en Costa Rica.
- 11) En consideración de que la escala de trabajo aplicada de 1:200.000 es considerada como amplia, no se considera razonable ni prudente bajar y avanzar en cuanto a incorporar criterios de interpretación a nivel de Gran Grupo, Subgrupo u otras categorías taxonómicas más específicas, lo cual podrá efectuarse una vez que se disponga de una cantidad superior de observaciones de campo que aporten más certidumbre y confiabilidad.
- 12) El conocimiento y el manejo apropiado del suelo como factor primordial y determinante de la producción y la productividad agroindustrial de la caña de azúcar, inicia con la identificación y clasificación taxonómica del mismo, como criterio necesario para la organización, planificación y correcta toma de decisión en materia técnico-administrativa y financiera de la empresa.
- 13) La información taxonómica disponible en el sector cañero-azucarero costarricense a nivel de Orden y Suborden es incuestionablemente muy valiosa y utilitaria, razón por la cual debe

servir de base para orientar las acciones de mecanización, preparación y manejo de suelos y plantaciones, formular programas de fertilización realistas, planes de riego y drenaje apropiados, iniciativas de conservación de suelos y cultivo de clones tolerantes a condiciones particulares del suelo (acidez, compactación, eutróficos, distróficos, alta pendiente, profundos, friables, etc.), todo conceptualizado en la Agricultura de Precisión.

Literatura Citada

- 1) Chaves Solera, M.A. 2017a. **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.
- 2) 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.
- 3) Chaves Solera, M.A. 2017c. **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.
- 4) Chaves Solera, M.A. 2017d. **La Caña de Azúcar en el Censo Nacional Agropecuario Costarricense Año 2014: presentación de resultados.** San José, Costa Rica. LAICA-DIECA, marzo. 41 p.
- 5) Chaves Solera, M.A.; Chavarría Soto, E. 2017a. **Aproximación taxonómica y territorial de los suelos sembrados con caña de azúcar en Costa Rica. II. SUBORDENES DE SUELO.** San José, Costa Rica. LAICA-DIECA, junio.
- 6) Chaves Solera, M.A.; Chavarría Soto, E. 2017b. **Aproximación taxonómica y territorial de los suelos sembrados con caña de azúcar en Costa Rica. I. ORDENES DE SUELO.** San José, Costa Rica. LAICA-DIECA, mayo. 55 p.
- 7) Chaves Solera, M.A. 2016. **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.
- 8) Chaves Solera, M.; Bermúdez Acuña, L.; Mendez Pérez, D. 2016. **Análisis de resultados agroindustriales finales de la zafra 2015-2016.** Boletín Informativo “Conexión”, Número 10, Enero-Diciembre 2016, LAICA, San José, Costa Rica. 40 p.
- 9) Chaves Solera, M. 2014. **Competitividad azucarera: un concepto necesario materializar.** San José, Costa Rica. LAICA-DIECA, noviembre. Presentación Electrónica en Power Point. 94 Láminas.
- 10) 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.
- 11) Chaves Solera, M. 2013. **Productividad agroindustrial: desafío permanente del sector cañero azucarero costarricense.** San José, Costa Rica. LAICA-DIECA, agosto. Presentación Electrónica en Power Point. 184 Láminas.

- 12) 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.
- 13) Costa Rica. 2015. PODER EJECUTIVO. **División Territorial Administrativa de la República de Costa Rica. DECRETOS. N° 39286 - MGP**. San José, Costa Rica. Publicado en el Alcance N.º 94 a La Gaceta N° 220 de 12 de noviembre de 2015. 95 p.
- 14) IICA-UCR-CIA. 2016. **Buenas prácticas en la elaboración en mapas de suelo**. Coordinación editorial: Rafael Mata Chinchilla, Dángelo Sandoval Chacón, Jonathan Castro Chinchilla y Christian Solís Salazar. IICA, CIA – San José, C.R.: IICA. 19 p.
- 15) 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.
- 16) 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.
- 17) Sandoval, D; Mata, R. 2015. **Mapa digital de suelos de Costa Rica (en línea)**. San José, Costa Rica, CIAUCR. Consultado 1 dic. 2015. Disponible en: http://www.cia.ucr.ac.cr/?page_id=139.
- 18) Sandoval, D.; Mata, R. 2014. **Base de perfiles de suelos de Costa Rica. [en línea]: Versión 3**. San José, Costa Rica. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). Disponible en: <http://www.cia.ucr.ac.cr/>
- 19) 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.
- 20) 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

Cuadro 2.
Orden y Suborden taxonómico sembrado con caña de azúcar en Costa Rica.

N°	Orden Suelo ¹	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
				Fluents	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
	Total	65.900,15	100	16	65.900,15	100

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.

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

Cuadro 3.
Taxonomía de suelos dominantes en Costa Rica según ÓRDEN y REGIÓN PRODUCTORA de caña de azúcar

Orden de suelo ¹	Región productora							Total	
	Guanacaste	Pacífico Central	Valle Central	Zona Norte	Zona Sur	Turrialba Juan Viñas	Zona Atlántica	ha	%
Alfisol	112,92							112,92	0,17
Andisol			1.675,42	221,44		2.657,61		4.554,47	6,91
Entisol	3.253,01	896,25	191,60	532,06	126,17			4.999,09	7,59
Histosol				27,22				27,22	0,04
Inceptisol	12.886,39	4.489,96	1.043,66	4.293,18	84,63	1.537,46	2,00	24.337,28	36,93
Mollisol	8.616,24							8.616,24	13,08
Oxisol					???			???	
Ultisol	463,11	291,01	1.258,05	4.559,07	4.301,05	753,05		11.625,34	17,64
Vertisol	11.474,39		153,20					11.627,59	17,64
Total (ha)	36.806,06	5.677,22	4.321,93	9.632,97	4.511,85	4.948,12	2,00	65.900,15	
%	55,85	8,61	6,56	14,62	6,85	7,51	0,003		100
Nº Orden	6	3	5	5	4	3	1	9	

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.

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

Cuadro 4.
Taxonomía de suelos dominantes en Costa Rica según ORDEN, SUBÓRDEN y REGIÓN PRODUCTORA de caña de azúcar.

Taxonomía de suelo ^{1/} 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
Total (ha)		36.806,06	5.677,22	4.321,93	9.632,97	4.511,85	4.948,12	2,00	65.900,15	
%		55,85	8,61	6,56	14,62	6,85	7,51	0,003		100
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.

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