

Periodo 11 de julio al 24 de julio 2022

El Instituto Meteorológico Nacional (IMN) con el apoyo del Departamento de Investigación y Extensión de la Caña de Azúcar de LAICA (DIECA-LAICA), presenta el boletín agroclimático para caña de azúcar.

En este se incorpora el análisis del tiempo, pronósticos, notas técnicas y recomendaciones con el objetivo de guiar al productor cañero hacia una agricultura climáticamente inteligente.

IMN

www.imn.ac.cr
2222-5616

Avenida 9 y Calle 17
Barrio Aranjuez,
Frente al costado Noroeste del
Hospital Calderón Guardia.
San José, Costa Rica

LAICA

www.laica.co.cr
2284-6000

Avenida 15 y calle 3
Barrio Tournón
San Francisco, Goicoechea
San José, Costa Rica

RESUMEN DE LAS CONDICIONES DE LA QUINCENA DEL 27 DE JUNIO AL 10 DE JULIO

En la figura 1 se puede observar, a partir de datos preliminares de 104 estaciones meteorológicas, el acumulado quincenal de lluvias sobre el territorio nacional.

Los máximos de lluvia diaria varían según la región cañera. Se registraron valores acumulados de lluvia diaria entre los 0.14 mm el día 07 de julio hasta un máximo el día 02 de julio con 47.01 mm, en la Región Guanacaste Este; mientras que la Región Guanacaste Oeste el monto máximo registrado fue de 65.06 mm el día 02 de julio y un mínimo de 0 mm el 04 de julio, no obstante, los montos variaron con 8 días que no sobrepasaron los 6.04 mm y los demás días con montos que oscilaron entre los 8.6 mm y los 41.04 mm. La Región Norte por su parte registró el día 03 de julio un mínimo de 3.4 mm y un máximo el día 02 de julio de 53.32 mm, los restantes días los montos oscilaron entre los 5.12 mm y los 48.44 mm. Para la Región Puntarenas se registraron lluvias de 0.07 mm el día 30 de junio y hasta un máximo de 24.73 mm el día 10 de julio, teniendo un periodo de 9 días con montos que variaron entre los 0.13 mm hasta 4 mm, los demás días los montos oscilaron entre los 12 mm y los 22 mm. La Región de Turrialba por su parte registró un monto máximo de 31.63 mm el día 02 de julio y un mínimo de 0.14 mm el día 08 de julio, los restantes días los montos fluctuaron entre los 0.76 mm hasta los 23.54 mm. En tanto en la Región Sur las precipitaciones han sido variables con 7 días con mínimos de 0 mm a 02 mm y 7 días con montos entre 08 mm y 63.8 mm. Por último, en la Región Valle Central se registró un patron similar a la Región Sur con valores mínimos en 7 días que no superaron los 7.62 mm el día 09 de julio y 7 días con valores entre 10.8 mm y 33.02 mm.



Figura 1. Valores acumulados de la precipitación (mm) durante la quincena 27 de junio al 10 de julio del 2022.

PRONÓSTICO PARA LAS REGIONES CAÑERAS DEL 11 DE JULIO AL 17 DE JULIO

De la figura 2 a la figura 8, se muestran los valores diarios pronosticados de las variables lluvia (mm), velocidad del viento (km/h) y temperaturas extremas (°C) para las regiones cañeras.

Esta semana se alternarán días lluviosos con días de pocas precipitaciones; durante la primera mitad, dos ondas tropicales estarán interactuando con la Zona de Convergencia Intertropical, aumentando la inestabilidad atmosférica en el país y generando lluvias desde primeras horas de la mañana en la Vertiente del Caribe y por la tarde en la Vertiente del Pacífico, incluyendo el Valle Central.

La primera de las ondas tropicales (OT#17) estará cruzando el país este lunes y la segunda (OT#18) (localizada en Venezuela) se prevé que transite en el transcurso del miércoles. Por otra parte, el tránsito de una masa de polvo del Sahara por el Mar Caribe en estos días ocasionará una disminución de la humedad y de las lluvias en la región para el final de la semana. No se descarta la presencia de polvo en el ambiente para el sábado y domingo.

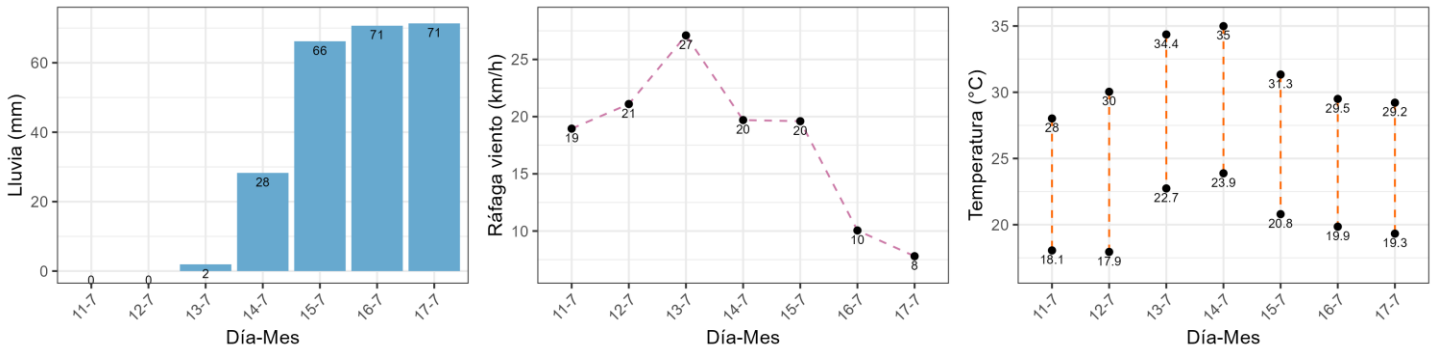


Figura 2. Pronóstico de precipitación (mm), viento (km/h) y temperatura (°C) del 11 de julio al 17 de julio en la región cañera Guanacaste Este.

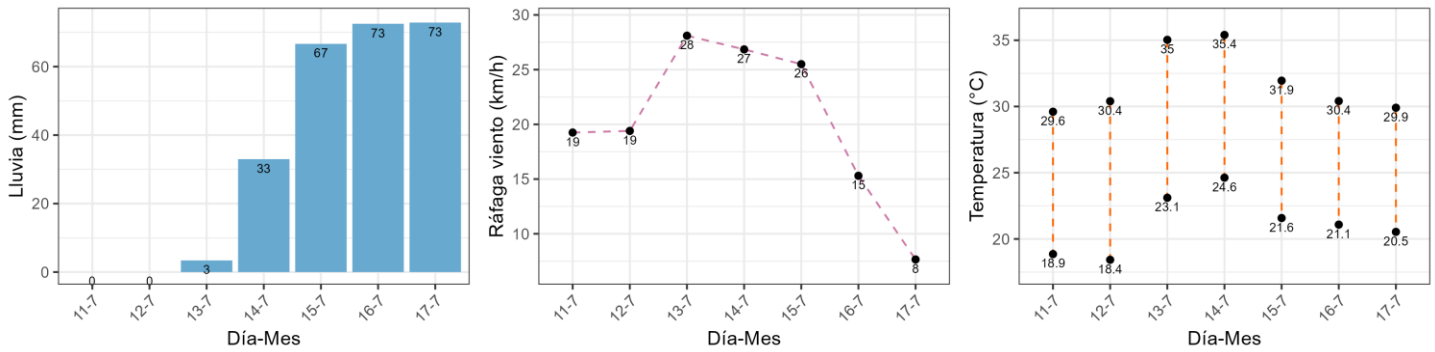


Figura 3 Pronóstico de precipitación (mm), viento (km/h) y temperatura (°C) del 11 de julio al 17 de julio en la región cañera Guanacaste Oeste.

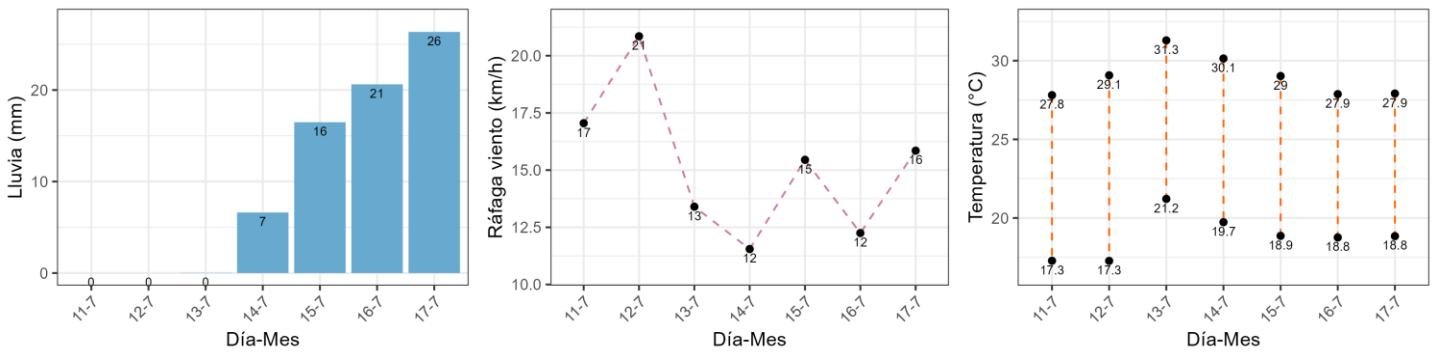


Figura 4. Pronóstico de precipitación (mm), viento (km/h) y temperatura (°C) del 11 de julio al 17 de julio en la región cañera Puntarenas.

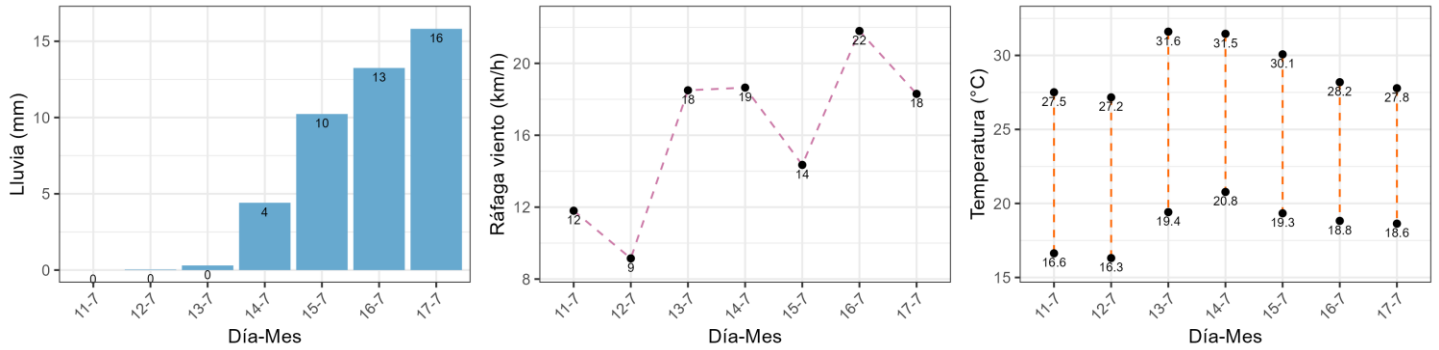


Figura 5. Pronóstico de precipitación (mm), viento (km/h) y temperatura (°C) del 11 de julio al 17 de julio en la región cañera Región Norte.

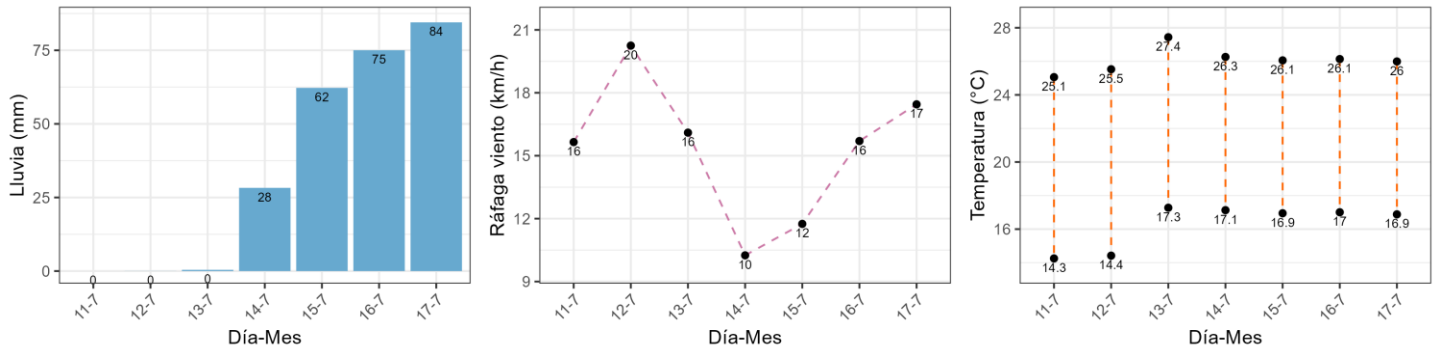


Figura 6. Pronóstico de precipitación (mm), viento (km/h) y temperatura (°C) del 11 de julio al 17 de julio en la región cañera Valle Central (Este y Oeste).

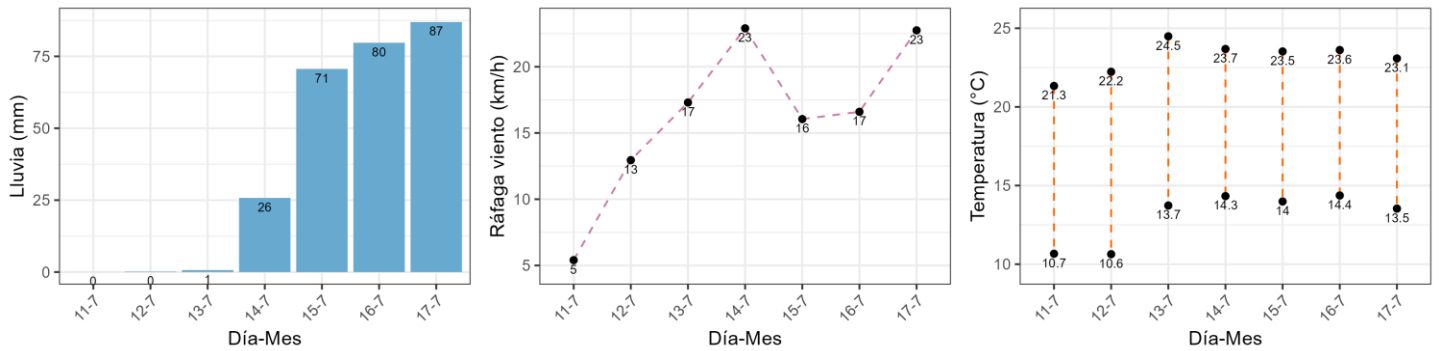


Figura 7. Pronóstico de precipitación (mm), viento (km/h) y temperatura (°C) del 11 de julio al 17 de julio en la región cañera Turrialba (Alta y Baja).

Julio 2022 - Volumen 4 – Número 14

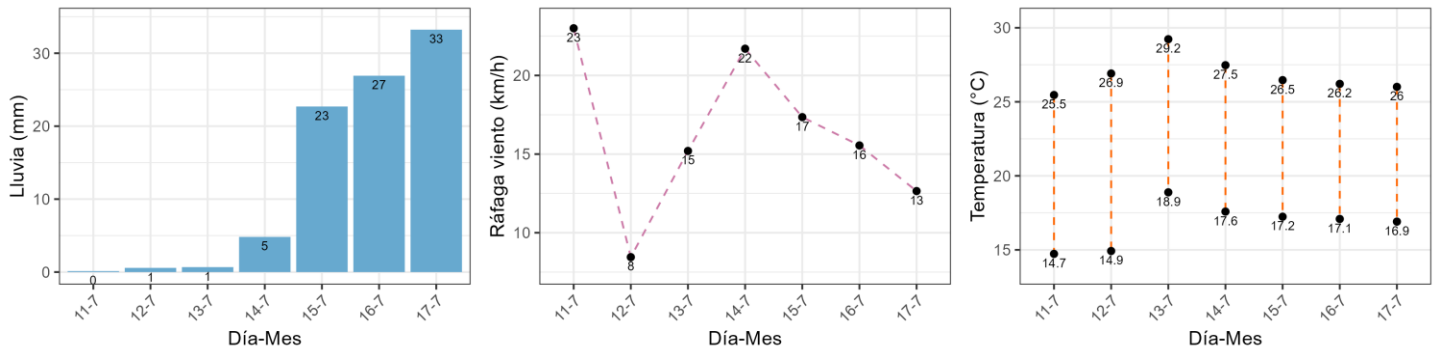


Figura 8. Pronóstico de precipitación (mm), viento (km/h) y temperatura (°C) del 11 de julio al 17 de julio en la región cañera Región Sur.

TENDENCIA PARA EL PERIODO DEL 18 DE JULIO AL 24 DE JULIO

De acuerdo con los análisis de hoy, para esta semana se esperan pocas precipitaciones en el país, coincidiendo con el periodo canicular en la Vertiente del Pacífico. Aún así, el paso de la onda tropical #18 podría dejar lluvias a su paso.

HUMEDAD DEL SUELO ACTUAL PARA REGIONES CAÑERAS

De acuerdo con Central America Flash Flood Guidance System (CAFFG), el cual estima la humedad en los primeros 30 cm de suelo, en la semana del 04 al 10 de julio se presentaron condiciones de alta saturación en la mayoría de los suelos de las regiones cañeras, solamente en las regiones Guanacaste Este, Guanacaste Oeste, Puntarenas y parte de la Región Norte se tuvo porcentajes bajos de humedad.

Como se observa en la figura 9, la Región Guanacaste Oeste tiene entre 30% y 90%, la Región Guanacaste Este presenta saturaciones entre 30% y 75%. La Región Puntarenas está entre 30% y 60%, la Región Valle Central Oeste tiene entre 30% y 75%, mientras que la Región Valle Central Este presenta entre 30% y 60%. La humedad en la Región Norte está entre 45% y 100%; la Región Turrialba Alta (> 1000 m.s.n.m.) tiene entre 45% y 100%, mientras que la Región Turrialba Baja (600-900 m.s.n.m.) ronda entre 45% y 75%. La Región Sur varía entre 30% y 90% de humedad.

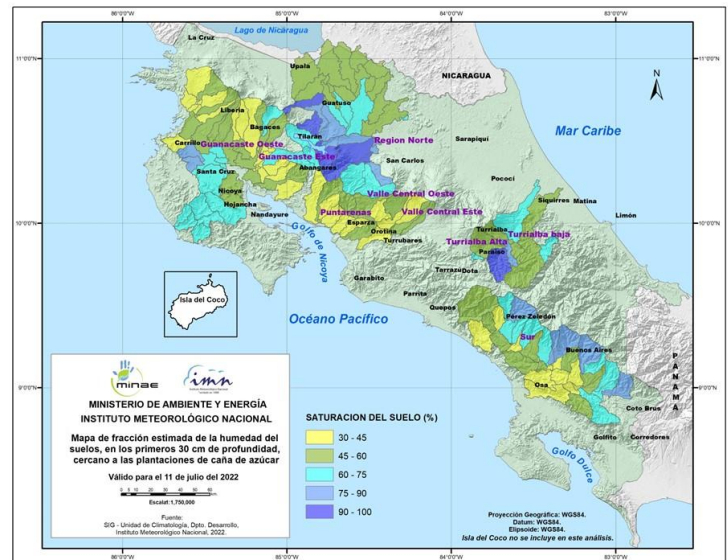


Figura 9. Mapa de fracción estimada de la humedad en porcentaje (%), en los primeros 30 cm de profundidad, cercana a las plantaciones de caña de azúcar, válido para el 11 de julio del 2022.

NOTA TÉCNICA

Muestreo de suelos agrícolas: aplicación a la caña de azúcar

Ing. Agr. Marco A. Chaves Solera, M.Sc.

chavessolera@gmail.com

Especialista en el Cultivo de la Caña de Azúcar

Introducción

La agricultura por desarrollarse en un sistema dinámico, variable y muy heterogéneo donde interaccionan numerosos factores y elementos de naturaleza biótica y abiótica, genera y mantiene un estado de inestabilidad e inconsistencia casi permanente que provoca que, el conocimiento pleno del entorno donde se desarrolle un proyecto o iniciativa agroproductiva constituya una necesidad y prioridad, si es que se desea actuar con algún grado de precisión en las actividades que se implementen. No hacerlo implica operar a ciegas e incurrir en actividades desprovistas de la certeza necesaria que se debe tener, y, por el contrario, se actúe en el ámbito de la improvisación, el sesgo y el error, con las consecuentes pérdidas productivas y económicas esperables, en afectación directa de la rentabilidad y sostenibilidad de cualquier proyecto agroempresarial que se desarrolle. Esta situación se dimensiona y torna realmente grave cuando la actividad agroproductiva corresponde a un proyecto de características extensivas como acontece con el cultivo de la caña de azúcar, donde la amplitud del área territorial implicada es por lo general amplia virtud de las características del cultivo.

Es aquí donde cabe mencionar, reiterar y aplicar lo señalado por Chaves (2015) al manifestar, que *“En una agricultura dinámica, exigente y muy competitiva como la actual, resulta necesario, esperable y hasta obvio pretender sacar el máximo provecho y utilidad de la gestión empresarial emprendida por cualquier unidad productiva, independientemente de su tamaño, nivel de inversión, grado de especialización y figura administrativo-legal involucrada. Esa acometida donde se integran ineludiblemente elementos fundamentales del entorno agroempresarial, como son: reducir costos, incrementar productividad agroindustrial, maximizar beneficios, ser ambientalmente amigable y socialmente comprometido y responsable, es lo que podríamos conceptualizar como competitividad.*

Debemos reconocer y aceptar que el éxito en la agricultura viene ineludible e inexorablemente ligado a la condición y eficiencia prevaleciente y que se genere en todos los órdenes, sea en factores de carácter biótico, abiótico, financiero, legal, comercial y administrativo, entre otros, algunos de los cuales como es sabido, resultan imprevisibles y no controlables, por lo que califican como verdaderos casos fortuitos y de fuerza mayor; otros por el contrario, son previsibles, contornables y

factibles de potenciar, resolver, mitigar o en su caso eliminar, según sea la situación particular. Buena parte del éxito de la empresa cañera está basado en la efectividad y capacidad de administración que se tenga en áreas estratégicas como son la planificación, coordinación, articulación, control y verificación de acciones y actividades en todo el agro cadena productiva de la caña de azúcar, pues caso contrario se generan efectos inconvenientes que impactan negativamente la gestión y resultado comercial.”

En este contexto, el conocimiento con el mayor detalle posible de información sobre los diversos y diferentes elementos implicados directa o indirectamente en la actividad agrícola, pecuaria y/o forestal involucrada, representa sin lugar a duda una enorme ventaja si se dispone de ella, o, por el contrario, una sentida limitación que se debe procurar solventar para poder operar con la previsión, precisión y capacidad necesarias en actividades complejas y competitivas. Es por esta razón que disponer de información detallada, consistente, representativa y oportuna sobre factores determinantes e inclusivos como clima, suelos, fisiografía, vegetación, plagas, enfermedades, infraestructura, insumos, recursos humanos, costos, precios y mercados resulta un excelente negocio, pues la información forma parte inalienable de este.

El suelo es por naturaleza un factor muy complejo de conocer y aun más de manejar virtud de la cantidad y diversidad de factores y elementos que lo estructuran, definen, interactúan y condicionan. Componentes pedogenéticos, morfológicos y taxonómicos; físicos manifestados en su composición textural; mineralógicos en la disposición mineral estructural; microbiológicos por la biota presente; hídricos y gaseosos, entre otros asociados con la fertilidad potencial, con todas sus relaciones de interacción, reacción, sinergismos y antagonismos, conforma el entorno que en estrecha relación con los demás factores (clima, planta, manejo, etc.) bióticos, abióticos y antropogénicos caracterizan y tipifican una determinada condición para desarrollar agricultura. Realmente el suelo es una estructura heterogénea, disímil y muy desigual sobre la cual no se pueden establecer generalizaciones en ningún ámbito territorial, sea macro o micro, pues el grado de error e incertidumbre puede llegar a ser muy alto. Esta realidad suficientemente comprobada y demostrada obliga necesaria e imperativamente acudir al muestreo del suelo para ahondar en su conocimiento.

El objetivo principal del muestreo de un suelo para tener una lectura aproximada de sus características y propiedades es tomar muestras que representen y caractericen de manera precisa el estado y condición real y actual del lote donde la misma fue tomada. Por lo anterior, se procura con el presente documento aportar los elementos básicos que contribuyan con la ejecución correcta de la práctica de muestrear un suelo para uso agrícola, en este caso dedicado al cultivo de la caña de azúcar.

A. Caracterización y variabilidad de suelos cañeros

La gran amplitud y fuerte dispersión territorial que presenta el cultivo de la caña destinada a la fabricación de azúcar en Costa Rica, donde sus plantaciones de acuerdo con Chaves y Chavarría (2021e), se distribuyen y ubican en un entorno muy disímil y cambiante de condiciones como se infiere al manifestar, que *“...existen diferencias importantes en relación con la referencia geográfica y agroindustrial anterior, pues de acuerdo con lo obtenido, para el año 2020 se identificaron 27 cantones de 82 (32,9% nacional) y 109 distritos de 488 (22,3% nacional) sembrados con caña de azúcar destinada a la fabricación de azúcar, en las 10 plantas industriales que operaron con ese destino en todo el país. Las mismas están ubicadas en las coordenadas más extremas sentido norte-sur y este-oeste a 11° 01' 57" (Los Chiles) y 09° 09' 55" (Brunka) latitud norte y 85° 38' 56" (Sardinal) y 83° 20' 14" (Buenos Aires) longitud oeste (Cuadro 1). La altitud de siembra de las plantaciones se establece entre 4 msnm (Puntarenas) y 1.653 msnm (Alvarado); identificando un 4,6% de las mismas (2.865,8 hectáreas) cultivadas sobre los 1.000 msnm, pertenecientes a 11 cantones del Valle Central (7= 63,6%) y Turrialba (4= 36,4%), además de 27 distritos.”*

La importante y determinante variabilidad que introduce la presencia de la planta de caña al estar sembrada y emplazada en 27 cantones y 109 distritos pertenecientes a 6 provincias, se traduce en necesidades, requerimientos, limitantes y potenciales muy diferentes, propios de los disímiles entornos de producción agroindustrial predominantes en el país para producir caña y fabricar azúcar, lo cual en términos empresariales se traduce en productividad, costos, ingresos y rentabilidad variable como indicara Chaves (2019c, 2020ah). Es definitivo que pese a poseer Costa Rica un área sembrada relativamente pequeña, estimada en la zafra 2020/21 en 60.668 hectáreas, cuando comparada con otras agroindustrias mundiales, el grado de heterogeneidad físico geográfica y edafoclimática observada en las condiciones de producción del país es muy elevada, lo que permite asegurar con buen criterio, que *“en materia territorial lo extenso no implica ni introduce necesariamente complejidad, ni lo pequeño simplicidad”*.

En lo referente al importante factor edáfico se presenta en el Cuadro 1 el resultado de un interesante estudio de aproximación realizado con el

objetivo de conocer los tipos de suelo predominantes en las zonas productoras de caña del país, los cuales se ubican, clasifica y expresan de acuerdo con el orden y suborden taxonómico (USDA 2014) más importante de acuerdo con la extensión del área (ha) involucrada. Se identificaron en ese ejercicio un total de 9 órdenes y 16 subórdenes de suelo sembrados con caña de azúcar, lo que representa un 75% y 23,5% de los contenidos originalmente en el sistema taxonómico del USDA (12 y 68, respectivamente). Este resultado demuestra y ratifica la heterogeneidad, dispersión y variabilidad de los suelos cañeros nacionales como factor determinante de la producción, como lo señalaran Chaves (2017b, 2019b) y Chaves y Chavarría (2021ab).

Según orden y área sembrada, la distribución de suelos generada por el estudio de caracterización e identidad taxonómica reprodujo los siguientes resultados: Inceptisol (36,9%), Vertisol (17,6%), Ultisol (17,6%), Mollisol (13,1%), Entisol (7,6%), Andisol (6,9%), Alfisol (0,17%), Histosol (0,04%) y Oxisol (no se cuantificó). Adicionalmente, los 16 subórdenes que fueron identificados se presentaron en su caso como sigue: 1) Ustepts (27,8%), 2) Usterts (17,6%), 3) Ustolls (13,1%), 4) Humults (9,4%), 5) Udepts (7,4%), 6) Udults (6,6%), 7) Orthents (6,5%), 8) Udands (4,6%), 9) Ustands (2,3%), 10) Aquepts (1,75%), 11) Ustults (1,7%), 12) Aquepts (0,88%), 13) Fluvents (0,19%), 14) Ustalfs (0,17%), 15) Sapristis (0,04%) y 16) Ustoxs, que no fue como se indicó cuantificado. Los Ustepts, Usterts y Ustolls representan conjuntamente el 58,5% de los suelos costarricenses cultivados con caña de azúcar. Solo el hecho de conocer la información taxonómica incorpora y provee al agricultor información muy relevante sobre las características físicoquímicas y microbiológicas que presentan esos suelos, y con ello, el potencial productivo disponible para satisfacer las expectativas que se puedan esperar en materia de producción agroindustrial.

Se concluye de lo anterior que el conocimiento y manejo apropiado del suelo como factor determinante de la producción y la productividad agroindustrial de la caña de azúcar, inicia indiscutiblemente con la identificación taxonómica del mismo como criterio necesario para invocar la planificación y correcta toma de decisiones en materia técnico-administrativa y financiera. Por esta razón esa valiosa información debe servir de base para orientar las acciones de mecanización, preparación y manejo de suelos y plantaciones comerciales, siembra de plantaciones, ubicación de variedades, formular programas de fertilización y corrección de acidez, planes de riego y drenaje, iniciativas de conservación de suelos y cultivo de clones resilientes tolerantes a condiciones particulares y especiales de entorno (acidez, compactación, eutróficos, distróficos, alta pendiente, profundos, friables, con riesgo de sequía o inundación, etc.), todo conceptualizado en la agricultura de precisión.

Cuadro 1. Caracterización edáfica y territorial de las regiones y zonas productoras de caña destinada a la fabricación de azúcar en Costa Rica.

Indicador	Regiones y Zonas Productoras									Nacional
	Guanacaste		Pacífico Central	Valle Central	Zona Norte		Turrialba		Zona Sur	
	Este	Oeste			San Carlos	Los Chiles	Zona Media	Juan Viñas		
Órdenes Taxonómicos de Suelos Dominantes	Inceptisol (35,0%) Vertisol (31,2%) Mollisol (23,4%) Entisol (8,8%) Ultisol (1,3%) Alfisol (0,3%)		Inceptisol (79,1%) Entisol (15,8%) Ultisol (5,1%)	Andisol (38,8%) Ultisol (29,1%) Inceptisol (24,2%) Entisol (4,4%) Vertisol (3,5%)	Ultisol (47,3%) Inceptisol (44,6%) Entisol (5,5%) Andisol (2,3%) Histisol (0,3%)		Andisol (53,7%) Inceptisol (31,1%) Ultisol (15,2%)		Ultisol (95,3%) Entisol (2,8%) Inceptisol (1,9%)	Inceptisol (36,9%) Vertisol (17,6%) Ultisol (17,6%) Mollisol (13,1%) Entisol (7,6%) Andisol (6,9%)
Porcentaje	100%		100%	100%	100%		100%		100%	99,70%
Subórdenes Taxonómicos de Suelos Dominantes	Ustepts (34,6%) Usters (31,2%) Ustolls (23,4%) Orthents (7,9%) Ustults (1,3%)		Ustepts (79,1%) Orthents (12,1%) Ustults (4,2%) Aquepts (3,7%) Humults (0,9%)	Ustands (34,6%) Ustepts (23,7%) Humults (19,4%) Ustults (9,2%) Orthents (4,4%)	Udults (44,7%) Udepts (34,2%) Aquepts (10,3%) Orthents (5,1%) Humults (2,6%)		Udands (53,7%) Udepts (31,1%) Humults (15,2%)		Humults (95,3%) Fluvents (2,8%) Ustepts (1,9%)	Ustepts (27,8%) Usters (17,6%) Ustolls (13,1%) Humults (9,4%) Udults (6,6%)
Porcentaje	98,40%		100%	91,30%	96,90%		100%		100%	74,50%
Relieve	Plano/Casi Plano	Plano/Casi Plano	Plano/Casi Plano	Ondulación Moderada	Ligeramente Ondulado	Ligeramente Ondulado	Ondulación Ligera a Moderada	Ondulación Moderada a Fuerte	Moderadamente ondulado	Plano a Fuerte Ondulación
Grado de Pendiente (%)	0,3 - 3%	1 - 5%	1 - 6%	3 - 25%	2 - 15%	3 - 5%	3 - 30%	5 - 35%	5 - 20%	0,3 - 35%
Drenaje	Moderadamente Lento	Moderadamente Lento	Moderadamente Lento	Bueno	Bueno	Moderadamente Excesivo	Bueno	Moderadamente Excesivo	Moderadamente Excesivo	Moderadamente Lento a Excesivo
Riesgo de Inundación	Moderado	Moderado	Severo	Nulo	Moderado	Leve	Leve	Nulo	Nulo	Severo - Nulo
Riesgo Sequía	Alto	Alto	Alto	Medio - Bajo	Medio - Alto	Medio - Alto	Bajo	Bajo	Medio - Bajo	Alto - Bajo
Riega	Si	Si	Si	Si	No	No	No	No	Poco	Si
Zonas de Vida Holdridge	Bosque Seco Tropical y Bosque Húmedo Premontano		Bosque Húmedo Premontano	Bosque Húmedo Premontano	Bosque Muy Húmedo Tropical	Bosque Tropical Húmedo	Bosque Pluvial Montano Bajo	Bosque Pluvial Montano	Bosque Muy Húmedo Premontano	

Fuente: Chaves (2017b, 2019b); Chaves y Chavarría (2017ab).

La constitución y estructura fisicoquímica que caracteriza esos órdenes y subórdenes taxonómicos en abierta relación y estrecha interacción con otros factores bióticos y abióticos del medio, principalmente climáticos, vegetales y antropogénicos, definen la condición y potencial agroproductivo de un lote o unidad territorial dedicado a producir caña de azúcar en niveles comerciales. Esa intensa relación provoca en lo pragmático que en el caso particular de los suelos de uso agropecuario

la condición de fertilidad actual y potencial presente condiciones muy diferentes entre regiones, zonas, localidades, fincas y hasta lotes cultivados, lo cual debe ser conocido. El Cuadro 2 presenta un detalle promedio de contenidos químicos aproximados de nutrimentos en los suelos sembrados en las seis regiones oficiales productoras de caña, procedentes del análisis de 894 muestras.

Cuadro 2. Caracterización química aproximada de los suelos cultivados comercialmente con caña de azúcar en Costa Rica.

Región	N° Muestras	pH	cmol (+) / l						µg / ml						% MO	Saturación (%) Acidez	Relación			Categoría Fertilidad
			Acidez	CICE	Ca	Mg	K	Σ Bases	P	S	Zn	Cu	Mn	Fe			Ca/Mg	Ca/K	Mg/K	
Guanacaste	159	6,4	0,16	26,81	19,6	6,1	0,52	26,65	17	15	2	9	17	64	4,6	0,61	3,2	37,7	11,7	Alta
Pacífico Central	51	6	0,19	14,06	9,9	3,6	0,38	13,87	15		2	8	19	59	2,8	3,46	2,7	26,1	9,5	Alta
Zona Norte	317	5,4	0,46	10,04	6	2,7	0,83	9,58	4	1	5	13	55	91	6,6	4,58	2,2	7,2	3,2	Alta
Valle Central	118	5,3	0,59	6,28	3,9	1,3	0,52	5,69	8		4	16	29	100		9,39	3	7,5	2,5	Alta
Turrialba-J. viñas	145	5,1	0,91	7,25	4,8	1,4	0,21	6,34	6		4	17	25	100		12,55	3,4	22,9	6,7	Alta
Zona Sur	104	4,9	1,7	4,64	1,7	1	0,23	2,94	5	5	1	9	12	100		36,34	1,7	7,4	4,3	Baja
Total / Promedio	894	5,5	0,67	11,51	7,6	2,7	0,45	10,84	9	7	3	12	26	100	4,7	6,54				Alta
Nivel Crítico 1/		< 5,5	< 0,50	5,01-25	< 4	< 1	< 0,20	< 5	< 10		< 2	< 2	< 5	< 10		< 10	< 2	< 5	< 2,5	

Fuente: Chaves (1999, 2017a, 2019b); Méndez y Bertsch (2012).

Nota: corresponde a valores promedio aritmético.

El resultado es claro y elocuente en demostrar la enorme variabilidad que prevalece entre regiones, elementos químicos y estado de fertilidad de estos, lo cual incide de manera directa sobre el potencial productivo y las medidas necesario implementar para su corrección, adecuación, potenciamento y mejoramiento. Se ratifica de nuevo la inconveniencia e imprudencia de realizar generalizaciones y adoptar medidas generales en su manejo.

De lo anterior se deduce y concluye la imperiosa necesidad y obligación de muestrear los suelos para conocer con el mayor detalle posible la condición de este para habilitar y practicar una actividad agrícola eficiente, rentable y sostenible. Sin conocimiento previo muy poco puede hacerse en materia de ecoeficiencia y eco-competitividad como nuevas líneas de gestión comercial, lo que se constituye en serias limitantes.

B. Perfil del suelo

El perfil de un suelo es la sección o corte vertical (calicata) que se realiza al mismo con el objeto de describir y analizar a nivel de campo y laboratorio sus componentes con el objeto de poder describirlo y clasificarlo de acuerdo con los preceptos taxonómicos vigentes (USDA 2014). La sección o corte vertical de un suelo se llama perfil el cual está compuesto por horizontes en el mismo plano. Diseñar y trazar un perfil del suelo de una plantación de caña de azúcar constituye una acción muy importante para tener mayor certeza sobre cómo aprovechar, utilizar y proteger el terreno y favorecer el desarrollo de una agricultura eficiente y competitiva.

En un perfil de suelo todos sus horizontes se ordenan en perspectiva vertical (Figura 1), formándose a partir de la sucesión de los horizontes que pueden apreciarse y diferenciarse al realizar un corte transversal en el substrato. Un horizonte se refiere entonces a un conjunto de estratos ubicados en formación horizontal que se originan en el interior del suelo y que poseen diversas propiedades y cualidades de composición, textura, adherencia y otros que pueden diferenciarse. Esas capas horizontales vistas y proyectadas en perspectiva vertical y denominadas horizontes, conforman el perfil del suelo. Los horizontes se distinguen entre sí por el tamaño de las partículas minerales (textura) que contienen, la presencia o ausencia de materia orgánica, presencia de piedras, el color distintivo, el contenido de humedad y el grado de adhesividad, entre otras cualidades.



Figura 1. Perfil y horizontes de un suelo.

Las características de un perfil varían con su constitución por lo que su trazado puede realizarse a diferente profundidad dependiendo del tipo de cultivo que se trate; además de si la roca madre o el material parental no aparece antes. El trazado del perfil de un suelo para fines agronómicos de cultivos como la lechuga, el culantro, las pasturas o en su caso los frutales, la palma aceitera y la caña de azúcar es muy diferente virtud de la capacidad (real y potencial) de profundización de su sistema radicular. Puede aseverarse que es el área de movilización de las raíces el que define la profundidad del perfil de un suelo como criterio de muestreo. En el caso de la caña de azúcar no debería por esa razón a ser inferior nunca a dos metros de profundidad.

C. Caña y capacidad extractora de elementos del suelo

Por su implicación directa y estrecha vinculación con el tema aludido es conveniente referirse a las particularidades de la planta de caña de azúcar en lo referente a su reconocida capacidad extractora de nutrimentos del suelo. Se ha demostrado que la excepcional capacidad de remoción y extracción de elementos químicos del suelo, muchos de ellos esenciales, es muy alta en el caso de la caña promovido y favorecido por atributos, propiedades y características de índole anatómico, fisiológico y hasta genético, como lo asevera Chaves (2020fi, 2021a). En dicho caso la presencia de un poderoso sistema de raíces constituido por tres subsistemas poseedores de una gran capacidad de exploración vertical y horizontal, tener un eficiente aparato fisiológico de captación, asimilación, transformación y uso de luz, agua y CO₂ atmosférico por su mecanismo fotosintético vía C₄, todo complementado genéticamente por su condición cromosómica poliploide, favorecen y fortalecen ese extraordinario atributo natural.

Aseguran Alfaro y Chaves (1999) en torno al tema de la excepcional capacidad extractora de la planta de caña, que *“Esta aseveración es explicable por la presencia de características anatómico-fisiológicas sobresalientes que posee la planta de caña, que inducen la absorción de altas cantidades de nutrimentos que justifican sus requerimientos y alta producción de materia seca.”*

En complemento con lo anterior, asegura Chaves (1986), que “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 debe ser satisfecho con una mayor extracción y asimilación.

La planta requiere de estos nutrimentos para tres fines distintos pero que se superponen:

- Tienen que construir su protoplasma (substancia constitutiva de las células) y formar todas las enzimas que necesita para sus procesos vitales y de crecimiento.
- Tiene que elaborar los tejidos de soporte y proteger su protoplasma, y
- Tiene que transportar elementos nutritivos de un órgano a otro para satisfacer las necesidades metabólicas.

Estas consideraciones permiten comprender en parte las demandas nutritivas totales de la planta. Así un crecimiento rápido y adecuado solo puede tener lugar en presencia de una cantidad oportuna de enzimas y luego que la planta ha absorbido cantidades adecuadas de los minerales necesarios para el funcionamiento de éstas.

Los mayores requerimientos de la caña como lo han corroborado varios investigadores es, en orden decreciente, como sigue: $K > N > Ca > Mg > P$ luego de estudiar la remoción y extracción en diversos lugares, condiciones ecológicas, suelos y variedades...”

Posteriormente, Chaves (1999, 2017a, 2022) en un estudio donde realizó una amplia revisión mundial de información científica recalificó y amplió el esquema selectivo y dominante de absorción nutricional para macro y micronutrientes, aportando el modelo preferencial de extracción de elementos del suelo indicado en la Figura 2:

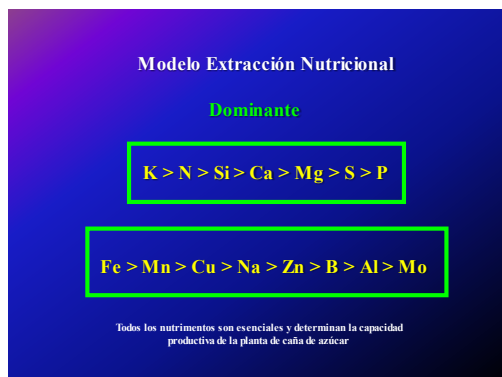


Figura 2. Modelo predominante de extracción mineral del suelo (Chaves 2022).

D. ¿Fundamentos del muestreo?

Como quedó debidamente apuntado el conocimiento de cualquier factor, elemento o producto del que se estime necesario conocer con mayor detalle sus características, atributos y propiedades para los fines y objetivos diversos que se tengan previstos y programados operar; emplea la técnica del muestreo como criterio pragmático básico y primario para proyectar y realizar las estimaciones e inferencias pertinentes sobre la totalidad de la población o componente a partir de donde la misma fue tomada. Nótese que en materia de suelos el término “población o universo” no se refiere apenas a un área importante del terreno, sino al total del terreno que se desea conocer y se va a estudiar. Los suelos, las plantas, el agua, los gases y otros componentes pueden y son también sujetos de muestreo.

Muchas acepciones vistas desde diferente perspectiva pueden establecerse para buscar una conveniente explicación e interpretación para la práctica de muestrear; entre las cuales el muestreo puede definirse, como el “...conjunto de técnicas estadísticas que implican el análisis y la obtención de conclusiones acerca de un determinado tema de un subgrupo o subconjunto pequeño de elementos (muestra) para extrapolarlas o inferirlas a todo el conjunto de elementos de interés (población).” Es también concebido, como “...una herramienta de la investigación científica. Su función básica es determinar que parte de una realidad en estudio (población o universo) debe examinarse con la finalidad de hacer inferencias sobre dicha población.” Se le consigna asimismo y de manera más simple y comprensible, como “...una herramienta de la investigación científica. Su función básica es determinar que parte de una realidad en estudio (población o universo) debe examinarse con la finalidad de hacer inferencias sobre dicha población.”

En este caso el muestreo aplicado particularmente al suelo corresponde a la actividad práctica de campo dirigida a recolectar secciones representativas del sustrato que permiten caracterizar y tipificar el mismo en los factores e indicadores deseados, sean éstos de carácter físico, químico, microbiológico, gaseoso, hídrico o de fertilidad, entre otros. La muestra es definida como una parte distintiva y original que contiene y presenta las mismas características o propiedades del material del cual fue tomado y que se está estudiando. El muestreo de suelos es un tema que por su relevancia ocupa espacios importantes en la materia técnica de uso común en la agricultura como lo refieren Barquero (1983), Costa y Dos Santos (1984), Petersen y Calvin (1986), Ramírez (1990), Angulo *et al* (1996), Ramírez (2005), Schweizer (2011) y Mendoza y Espinoza (2017), entre muchos otros.

E. Tipos de muestreo

Los tipos de muestreo que pueden implementarse corresponden a las diversas formas y maneras que existen para extraer datos confiables y representativos de un terreno y/o una plantación en este caso sembrada

con caña de azúcar. Las técnicas existentes son una poderosa herramienta destinada a determinar qué parte o secciones del terreno es necesario examinar para realizar inferencias y obtener información representativa, fehaciente y confiable sobre la misma. En principio la técnica más apropiada por utilizar depende del objetivo y destino final del muestreo, pues si el mismo pretende emplearse para mapear o clasificar taxonómicamente el suelo, conocer la física asociada, diagnosticar la condición macro y microbiológica prevaeciente o en su caso como es común, emplearse para conocer el contenido mineral para poder inferir el grado de fertilidad presente, los indicadores evaluados varían de manera significativa en el método en que son obtenidos, tratados e interpretados. En principio los criterios adoptados pueden tener un trasfondo estadístico o no estadístico, lo que marca diferencia.

El muestreo no estadístico es una técnica donde las muestras se recogen utilizando un mecanismo que no les aporta a todos los individuos de la población las mismas oportunidades de ser seleccionadas; lo que puede resultar en generar información sesgada o con una capacidad muy limitada para generar conclusiones basadas en los hallazgos obtenidos; también existen casos en los que emplear esta técnica de muestreo constituye la mejor opción para atender asuntos relacionados con las fases iniciales (piloto) de investigación previas a operar un proyecto de investigación más grande. El criterio puede resultar útil, sin embargo, limitado para que el investigador pueda emplear los resultados de una muestra para proyectar y generalizar a una población más amplia.

El muestreo estadístico de tipo probabilístico es por su parte una técnica en la cual las muestras son recolectadas a través de un proceso ordenado y planificado que le provee a todos los individuos de la población la misma oportunidad de ser seleccionados; motivo por el cual se le considera como el enfoque metodológico más riguroso para realizar un muestreo de calidad, ya que elimina los inconvenientes sesgos que podrían condicionar la muestra empleada en la investigación y por ende sus resultados. La mejor técnica de muestreo será la que permita responder mejor a la circunstancia, razón, motivo u objetivo del muestreo y responder a la pregunta ¿Para qué y por qué muestreo?

En realidad, el muestreo aplicado a los suelos resulta muy difícil de poder cumplirse a cabalidad en el segundo caso (estadístico de tipo probabilístico), pues por motivo de la tremenda variabilidad espacial que en sentido horizontal y vertical posee un suelo aun considerado homogéneo, pensar en darle a todas las muestras “las mismas oportunidades de ser seleccionadas” es realmente difícil.

Lo que sí es posible de operar y controlar es actuar sobre la muestra, buscando su máxima representatividad, para lo cual el concepto de **Muestra Simple o Única, Muestra Compuesta, Muestreo Sistemático y Aleatorio Simple** resuelve en alto grado el problema. En este sentido, se entiende por Muestra Simple la toma de una única muestra en el punto, tipo de suelo o sección representativa designada como unidad muestral, como ocurre para efectos de su caracterización. En este caso se

caracteriza el perfil del suelo tomando muestras de los diferentes horizontes que lo conforman.

La determinación del estado de fertilidad de un suelo se puede también realizar de manera confiable mediante la obtención de Muestras Compuestas, lo que disminuye significativamente el costo de análisis implicado. La técnica consiste en tomar numerosas submuestras de puntos estratégicos y conformar por mezcla una sola muestra perteneciente a una unidad de muestreo. Se recomienda que cada muestra compuesta se forme de al menos 20 submuestras, lo que asegura que las variables asociadas con la fertilidad correspondan a la media verdadera de la población de datos o unidad de suelo. Este tipo de muestreo es muy importante aplicarlo en lotes uniformes.

El Muestreo Sistemático corresponde a la técnica donde se selecciona un sitio de muestreo de acuerdo con un patrón de distancias (m), lo que implica obtener una gran cantidad de muestras para poder determinar de manera precisa dentro de la unidad muestral, las tendencias que siguen las variables o factores evaluados. Este tipo de muestreo es muy utilizado en estudios intensivos de suelos orientados a diseñar mapas de suelos, lo que incluye al menos la descripción de un perfil de un sitio representativo de la unidad muestral. Este tipo de muestreo es muy empleado como fase inicial en cultivos extensivos (banano, palma aceitera, caña de azúcar) y muy tecnificados, ya que permite determinar el grado de aptitud del terreno para su siembra; luego de lo cual y una vez establecida la plantación, se continua con los muestreos del suelo mediante muestras compuestas.

El recorrido Aleatorio Simple tiene posibilidades y es apropiado para tierras homogéneas y planas. El método se emplea en lotes predeterminados de la finca, donde las muestras se recolectan de forma aleatoria; escogiendo puntos al azar que representen el área muestreada, después se mezclan. Este tipo de muestreo se utiliza en cultivos anuales y pasturas y en tierras homogéneas.

F. ¿Por qué es importante?

El muestreo como se indicó es una herramienta necesaria e indiscutiblemente muy importante cuando no es posible, no se puede o no considera necesario analizar la totalidad (población o universo) de un determinado factor de interés, en este caso el suelo de una plantación comercial de caña de azúcar. Se califica al muestreo como una etapa crítica dentro de la gestión realizada orientada a evaluar correctamente el estado de fertilidad de los suelos, por cuanto un error desvirtúa e induce al error en su interpretación. Por esta razón hacerlo bien resulta trascendental en extremo, virtud de lograr alcanzar la máxima representatividad posible del área de cultivo y con ello de los indicadores de interés por conocer.

Para establecer cultivos o en su caso renovar, ampliar e incorporar nuevas áreas se deben diagnosticar las propiedades físicas, químicas y/o

biológicas del suelo, con el fin de identificar limitaciones y también ventajas y potenciales, a partir de las cuales poder determinar el uso más apropiado de tan importante recurso; este diagnóstico se realiza a partir de la muestra que se tome del suelo.

Sin un muestreo bien planificado, organizado, estructurado y ejecutado en tiempo, forma y alcances cualquier inferencia, deducción o conclusión que se derive y establezca sobre una determinada sección o terreno cultivado, estará contaminada e intervenida por elementos inconvenientes de sesgo y error que pueden llevar a desenlaces inesperados y no deseados. Puede perfectamente aseverarse por esto con criterio bien fundamentado, que el éxito productivo y financiero de un proyecto agroempresarial puede estar fuertemente ligado y supeditado al muestreo y conocimiento previo que se tenga del suelo donde el mismo se desarrollará. Actuaciones técnico-administrativas basadas en simples apreciaciones, criterios subjetivos, presunto conocimiento “por experiencia” u opiniones externas sin base en un muestreo bien sustentado, resultan poco serias y nada efectivas.

Si consideramos además que por su naturaleza, estructura, dinámica y actividad los suelos son altamente variables y cambiantes en sus características, propiedades y atributos aún en periodos de tiempo relativamente cortos, la necesidad de conocer su estado actual y con ello su potencial productivo, se torna una necesidad y obligación. Factores asociados con la degradación del suelo manifestados en sus elementos y manifestaciones más conocidas mediante acidificación, salinización, compactación, erosión, contaminación pueden provocar cambios de fondo en poco tiempo, como lo señalara Chaves (2019b, 2020bcdeg).

G. La muestra

Durante las operaciones de campo vinculadas con el muestreo de un suelo en este caso de uso agrícola, las acciones se orientan hacia la extracción de una parte representativa del material que lo conforma, de modo que se tome en cuenta y considere su grado de variabilidad, el destino previsto y el manejo que ha tenido el mismo, la proporción y la toma de fracciones de dicha muestra para la realización de las determinaciones analíticas que correspondan y tenga previsto realizar en el laboratorio. Por lo anterior, la muestra constituye en realidad una mezcla de partes de un suelo (submuestras) tomadas con base en un patrón determinado y previsto con antelación dependiendo del grado de homogeneidad (o no) que tenga el terreno. Es importante que la muestra de suelos sea representativa del lugar que se desea evaluar y que refleje la tendencia dominante en su composición, más que un simple promedio; razón por la cual la calidad de esta determina el valor y uso explicativo de sus resultados (Petersen y Calvin 1986).

La muestra es entonces una parte, sección o fragmento relativamente pequeño de la totalidad (población, universo) que representa el lote o finca a estudiar, compuesta por un número más manejable, seleccionado para fines de análisis e interpretación. Por medio de la

muestra pueden estudiarse un conjunto muy amplio de indicadores mediante la valoración de porciones más pequeñas que resulten representativas, o sea, que sean más o menos proporcionales al resto del terreno donde fueron tomadas.

Se debe considerar y tener muy presente que cuando se toma solamente una parte (sección) de todo el terreno cultivado o por sembrar (universo) como fuente potencial de datos, es posible cometer errores y hasta omitir información relevante y muy representativa, motivo por el cual los resultados alcanzados no serán nunca todo lo precisos y certeros que deberían y desea obtener. A este sesgo se le conoce como “error de muestreo” el cual se debe por todos los medios posibles procurar reducir y minimizar.

La obtención de las muestras se realiza por medio de diferentes técnicas con trasfondo estadístico o no, que garantizan empleando distintos mecanismos una aleatoriedad adecuada que contribuya con el menor sesgo posible en su selección; es decir, la mayor objetividad posible que permita obtener aproximaciones e inferencias válidas respecto al total de donde fueron tomadas. Si, por el contrario, se obtiene una muestra sesgada por su elevado error de muestreo, las conclusiones posibles serán menos fehacientes y por lo tanto poco útiles.

En términos cuantitativos se estima que una muestra de suelo pesando un kilogramo puede representar de manera aproximada y conservadora una hectárea de terreno, por cuanto a una profundidad de 20 cm y con una densidad aparente teórica de 1 g/cm³, puede llegar a pesar 2.000.000 de kg, posibilitando inclusive ser superior a una ha.

H. Representatividad

La representatividad de la muestra es un asunto de extrema importancia que está directamente relacionada con los objetivos establecidos para el muestreo de suelos, los cuales pueden ser: i) manejo de la nutrición (estimación de la fertilidad), ii) conservación y restauración de suelos (línea base y monitoreo), iii) remediación y iv) caracterización para fines de planificación del uso de la tierra. Las escalas aplicadas pueden variar significativamente cubriendo desde pequeñas parcelas, fincas pequeñas, medianas y muy extensas hasta llegar al nivel de paisaje.

La selección del sitio apropiado para realizar la práctica de muestreo considera que en primera instancia que el terreno sea uniforme en profundidad, color, textura, grado de pendiente, posición en la pendiente y uso anterior del mismo (homogéneo). En el caso que se tengan pendientes superiores al 5% es recomendable dividir la parcela en secciones ubicando parte alta, media y baja como se indica en la Figura 4. En condiciones de ladera donde los suelos poseen pendientes próximas al 20% o más, es importante auxiliarse de hojas topográficas, fotografías aéreas o mapas de Google.

En suelos planos, no es recomendado muestrear áreas superiores a 10 hectáreas en cultivos anuales y 20 hectáreas en cultivos perennes y

pasturas (si son uniformes). El número de submuestras para una muestra compuesta debe ser al menos de 20 aunque puede variar de acuerdo con la condición particular del terreno como se comentará más adelante en el punto 1.7.

Las dimensiones del muestreo son de alcance espacial, temporal y vertical. El espacial considera el paisaje, la forma del relieve, la posición en el relieve y la profundidad de muestreo; el temporal discurre sobre la época del muestreo y el número de años necesario para el mismo. La variabilidad vertical está asociada con el perfil del suelo y los horizontes que lo conforman.

I. Técnicas y práctica de muestreo

La muestra cómo se indicó forma parte de una población mayor, de modo que, si se tienen varias poblaciones diferentes, se deberán consecuentemente tener también varias muestras. En el presente caso la población la representa el lote de caña por muestrear, que suponiendo corresponda a varias fincas, lotes o secciones diferentes, se debe considerar entonces necesario tomar varias muestras. El muestreo es en conclusión el proceso de obtención de una muestra representativa.

Son muchos los interrogantes que surgen y se deben obligadamente atender y resolver al momento de planificar realizar la toma de muestras y análisis de un suelo, como son entre otros los siguientes:

- 1) Cantidad de muestras/superficie considerando el grado de variabilidad horizontal que puede existir en el terreno (paisaje)
- 2) El momento más oportuno de realizar el muestreo consecuente con la variabilidad temporal
- 3) La profundidad del muestreo o variabilidad vertical asociada con el perfil de suelo y sus respectivos horizontes.

La variación en esos tres elementos no puede ni debe desconocerse si se desea realizar una evaluación certera y apegada a criterios válidos y aceptados que contribuyan a minimizar el sesgo y el error muestral. Seguidamente se anotan, describen y comentan algunos asuntos específicos importantes asociados con el muestreo de suelos cañeros.

I.1. Plan de muestreo

Un plan de muestreo de suelo por desarrollar en un terreno de uso agropecuario constituye en su esencia un proceso formal y sistemático de planificación que se piensa, define e implementa antes de salir al campo. Dicho plan recoge y contiene información y programación relacionada directamente con cada una de las actividades que conforman la actividad de muestreo propiamente dicha, y señala de manera ordenada y sistemática los criterios técnico-administrativos a seguir para la correcta y oportuna toma de las muestras en el campo, de acuerdo con los objetivos previstos por el mismo. Debido a la presencia y participación de numerosos factores (clima, edáficos, vegetales,

antropogénicos) es muy difícil establecer reglas rígidas en su ejecución. Los detalles y fineza del procedimiento a seguir quedan en alto grado determinados y condicionados por el objetivo pretendido, razón por la cual un muestreo destinado a conocer el estado de fertilidad difiere de otro ejecutado con fines taxonómicos o de mapeo del terreno.

Existen sin embargo algunos asuntos que deben ser necesariamente considerados y tomados en cuenta al realizar un muestreo de suelos, como son entre otros los siguientes:

- 1) Ubicación espacial del muestreo en la finca antes de localizar las unidades de muestreo
- 2) Definir el tamaño (hectáreas) de las unidades de muestreo de acuerdo con el grado de homogeneidad
- 3) Establecer el mejor momento para realizar el muestreo
- 4) Acordar la profundidad (cm) a la que se tomarán las muestras
- 5) Estimar la cantidad de muestras a extraer por sección, lote o finca lo que va en asocio directo con las unidades de muestreo
- 6) Definir el número de submuestras a tomar para conformar una muestra
- 7) Periodicidad de los muestreos

I.2. Lugar y dimensión del área a muestrear

De acuerdo con el tipo de muestreo elegido realizar y considerando las características del lugar, se debe seleccionar en primera instancia la(s) sección(es) o área(s) del terreno sembrado con caña que se considera en principio como más apta y distintiva para que califique y actúe en condición de “representativa”, todo siempre conforme a los objetivos originalmente planteados.

La idea de muestrear es en principio buscar reducir y simplificar el universo (población) de datos que potencialmente existe lo más que se pueda, eligiendo y tomando la muestra más representativa (típica) que sea capaz de brindar la máxima información de interés posible de una condición particular, que asegure y además aporte solidez y validez a los resultados obtenidos e inferencias y conclusiones derivadas de los mismos.

En una investigación de índole científica, valoración del potencial y condición actual de un terreno de uso agropecuario o corresponda al análisis de un determinado factor de interés específico, el muestreo debe corresponder para ser efectivo con el área teóricamente más heterogénea, diferente y cambiante para llegar a establecer inferencias y llegar a conclusiones sobre los mismos.

En primera instancia se deben observar, identificar y valorar con juicio crítico las características naturales mayores y más notorias de la finca o lote que se estima son generadores potenciales de variación. Las mismas pueden ser muy evidentes o en su caso necesarias de identificar con apreciaciones más puntuales y específicas; en el primer supuesto elementos objetivos mayores como son el grado de pendiente, la

presencia de piedra, el cambio notorio de color, textura, compactación, humedad, erosión, tipo de vegetación presente, ríos, drenajes, preparación de suelos, entre otras, resultan condiciones presumiblemente generadoras de variabilidad; al igual que terrenos nuevos o en uso agrícola continuo. Esas áreas pueden ser inicialmente ubicadas y elegidas por su notoriedad como primer criterio de selección y segregación, como se indica figurativamente para fines didácticos en la Figura 3 y de manera más explícita en la Figura 4, en la cual pueden sin mayor problema ubicarse elementos diferenciadores como los indicados en la estampa.

El tamaño dado en hectáreas (ha) o metros cuadrados (m²) que puedan tener las secciones segregadas puede ser muy variable virtud del grado de homogeneidad que posean las mismas. Puede por ello encontrarse secciones o lotes potenciales de muestreo con extensiones de 50, 30, 20, 10 o 5 hectáreas, pudiendo reducirse a 1, 0,5 ha e inclusive apenas a 100 o 500 m². El área con potencial para ser muestreado está determinada y depende de factores, como:

- Tamaño de la finca (hectáreas)
- Grado de variación y heterogeneidad intrínseca del terreno
- Destino y uso final del muestreo
- Recursos dispuestos a invertir

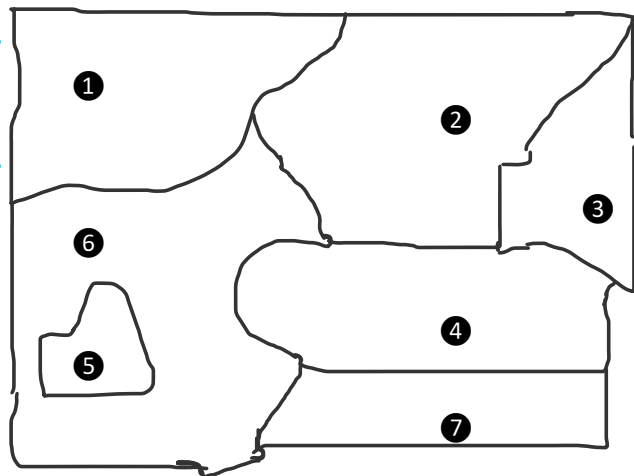


Figura 3. Diferenciación fisiográfica y edáfica de una finca cañera.

Es definitivo que el suelo es como se ha indicado un cuerpo muy complejo y heterogéneo en sus características, propiedades y potenciales de uso agropecuario y forestal, debido a la presencia de condiciones naturales de origen pedogenéticos, morfológico y mineralógico, topográfico, hídrico, gaseoso, componente vegetal (biótico) y de manejo diferentes; pese a lo cual es posible identificar y segregar unidades (polipedones) con características muy similares que conforman lo que se conoce como **unidades muestrales o de muestreo**.

El muestreo fundamentalmente lo que busca es obtener datos representativos y confiables de secciones del terreno dotadas con características similares; razón por la cual una muestra representa toda una sección, un lote y hasta una finca.



Figura 4. Ubicación de las áreas donde muestrear un suelo.

Se infiere de lo anterior y en un sentido de interpretación macro que es el grado de variabilidad (horizontal, vertical) del terreno el que define los lugares donde se deberán tomar las muestras consideradas más representativas; sin embargo, siempre queda la duda sobre ¿dónde muestrear propiamente en la plantación seleccionada? La respuesta para dicha inquietud tiene dos condiciones: a) si el área no está aún sembrada y b) si se trata de un terreno ya cultivado con caña creciendo en estado de soca. Ambas situaciones generan acciones diferentes.

En el primer caso (a) se debe seguir un criterio de muestreo estratégico global de acuerdo con la extensión (ha) y presunta condición de variabilidad que se tenga del terreno, siguiendo una metodología aleatoria o previamente definida en cuanto al recorrido a seguir en la toma de las muestras, como lo señalada la Figura 5. En el segundo supuesto (b) la situación es diferente, pues se tiene una plantación sembrada y distribuida en surcos continuos separados entre sí con distanciamientos variables entre 1,40 y 1,80 m, para una disposición de 1,5 m como la más frecuente y empleada en Costa Rica. En dicho caso queda aún la duda sobre ¿dónde tomar la muestra? pudiendo en principio tomarse de tres puntos posibles: 1) sobre la banda de plantas, 2) en el entresurco y 3) en el lomillo próxima a la banda de plantas, como se aprecia en la Figura 5.

Julio 2022 - Volumen 4 – Número 14

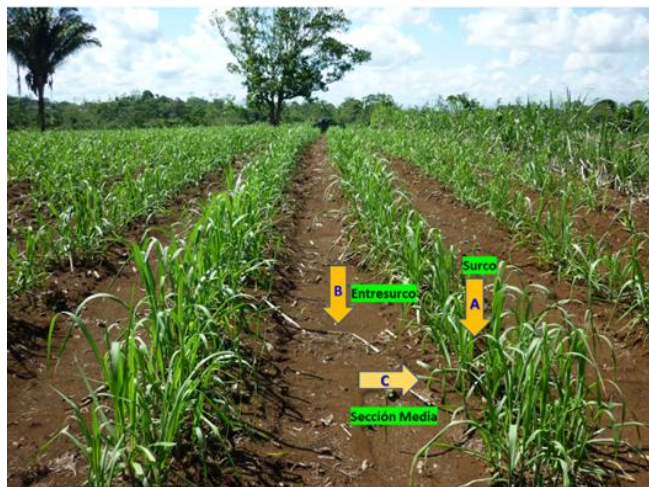


Figura 5. Secciones potenciales de muestreo.

Procurando dilucidar esa duda Angulo, Chaves y Segura (1996) realizaron una sencilla pero interesante prueba de campo en terrenos del Ingenio Taboga (8 msnm), ubicado en la localidad de Cañas, Guanacaste, “con el objeto de evaluar posibles diferencias inducidas sobre los resultados, por la forma en que se tome la muestra al momento de diagnosticar el estado nutricional de un suelo.” En la misma se tomaron muestras para análisis en varios puntos de una plantación comercial sembrada con caña de azúcar en primera soca 15 días posteriores a su cosecha. El muestreo se realizó sobre dos órdenes taxonómicos diferentes de suelo: Inceptisol y Vertisol (Chaves 2017b; Chaves y Chavarría 2017ab). Los tratamientos evaluados referentes al punto donde se tomaron las muestras fueron: A) sobre el surco de plantas; B) en el entresurco; C) combinado (A+B) y D) en el borde del surco de caña (30 cm del centro). La muestra se tomó con un barreno tipo “holandés” que se introdujo a una profundidad de 30 cm, extrayendo 10 muestras representativas distribuidas al azar por cada modalidad evaluada. El Cuadro 3 expone los resultados obtenidos expresado por orden de suelo, modalidad de muestreo y variable química analizada.

Cuadro 3. Resultado muestreo de suelos en una plantación de caña de azúcar empleando cuatro criterios diferentes. Taboga, Cañas, Guanacaste.

Tratamientos	pH	cmol(+)/l				µm/l					MO %
		Ca	K	Mg	Acidez	P	Cu	Fe	Mn	Zn	
Vertisol											
A	6,3	27,9	1,46	11,86	0,1	16	8	32	53	2	2,18
B	6,3	27,3	1,44	11,72	0,1	12	9	20	39	2	2,40
C	6,4	26,5	1,36	11,72	0,1	16	7	22	38	2	2,35
D	6,4	27,4	1,32	13,44	0,1	10	8	20	50	2	2,66
Promedio	6,3	27,3	1,4	12,18	0,1	13	8	24	45	2	2,40
Inceptisol											
A	6,4	24,0	0,61	6,52	0,1	32	6	42	22	2	3,29
B	6,5	24,1	0,43	6,56	0,1	32	6	34	19	1	2,81
C	6,3	23,9	0,43	6,51	0,1	29	7	37	21	1	2,83
D	6,5	27,2	0,56	6,34	0,1	30	6	41	18	2	3,58
Promedio	6,4	24,8	0,51	6,48	0,1	31	6	39	20	2	3,13
Promedio general	6,4	26,0	0,96	9,33	0,1	22	7	31	32	2	2,76

Fuente: Angulo, Chaves y Segura (1996).

Tratamientos: A)= sobre el surco de plantas; B)= en el entresurco; C)= combinado (A+B) y D)= en el borde del surco de caña (30 cm del centro).

De acuerdo con los resultados los autores concluyeron, que “...no evidenciaron diferencias estadísticas para las modalidades, aunque sí para los órdenes de suelo. Hubo nutrientes que no mostraron variación entre suelos ni entre modalidades, como fue el caso del pH, Ca, Acidez (Al), Cu y Zn; la materia orgánica por su parte mostró apenas una ligera variación. Los nutrientes que sí evidenciaron variación en su concentración en el suelo fueron K, Mg y Mn, los cuales mostraron

contenidos mayores en el Vertisol, en tanto que en el caso del Fe y P fueron mayores en el Inceptisol. En virtud de la amplia capacidad expansiva y exploratoria que posee el sistema radicular de la caña, y estimando que, al no existir evidencia de diferencias significativas entre los métodos de muestreo de suelo, se recomienda la adopción de un método combinado de muestreo que incluya el surco y el entresurco.”

De acuerdo con Barquero (1983) las muestras se deben tomar en el entresurco a una profundidad de 20 cm, limpiando previamente la superficie del suelo.

Se recomienda por esto hacer la toma de muestras de suelo para análisis en la sección media ubicada entre la cepa o línea de plantas caña y el centro del entresurco. En la medición de contenidos de Carbono Orgánico que está almacenada en el suelo (COS) para efectos ambientales, FAO (2019) recomienda también seguir ese criterio.

1.3. Toma de la muestra

Una vez definidas y ubicadas las secciones del terreno que se considera y califican por razones obvias y objetivas como “diferentes”, procede seguidamente realizar la toma de muestras en cada una de esas secciones. Dicha labor debe ser estratégicamente planificada en tiempo y forma con la antelación debida, pues no se trata simplemente de salir al campo a “recoger pocos de suelo” de manera arbitraria, como expresan algunos ignorantes de la importancia del proceso; pues como se indicó, es **en la calidad de la muestra donde reside el éxito y razón de la práctica**. Una mala gestión en el muestreo conduce a incrementar el nivel de sesgo, éste el grado de error lo que al final se materializa en prácticas de campo desajustadas, inconvenientes o en su caso ajenas a la necesidad real de lo que se desea corregir o mejorar, como acontece por ejemplo con la mecanización y laboreo de terrenos, corrección de la acidez por enclamiento del suelo, adición de fertilizantes y aplicación de riego entre otros. El impacto agroproductivo provocado a causa de una mala decisión al momento de muestrear correctamente un suelo puede ser grande y económicamente muy onerosa, con el agravante de mantenerse activo por muchos ciclos de cultivo.

Con el objeto de evitar incurrir en esa grave, inconveniente e innecesaria deficiencia debe considerarse de previo incorporar varias medidas que las eviten o al menos las reduzcan; entre las cuales está definir un plan de acción para la toma de muestras en el campo que considere el número de muestras y la orientación en la que se realizará el muestreo. Son muchos los criterios que pueden seguirse en cuanto a la orientación a seguir en el terreno como se aprecia en la Figura 6, pudiendo ser aleatoria al azar, en *zig-zag*, dispuesta en cuadrícula, rectángulo, triángulo o en forma de X trazada en diagonales, siempre buscando abarcar la mayor área posible. Las diferencias en el resultado son obvias en sentido técnico, pero también económico, pues la cantidad de muestras implicada y por ende el grado de precisión y reducción del sesgo es muy alto en algunos casos, como acontece con la cuadrícula virtud de la cantidad de unidades muestrales generada. Como principio general se tiene que **más muestras implican más trabajo, mayor precisión y más gasto**.

Es fundamental y determinante en el trabajo de campo por realizar y resultados por obtener, asegurarse de fijar como primera medida con buen criterio técnico, los límites y extremos de las unidades de muestreo a evaluar; para lo cual resulta muy apropiado y efectivo realizar un recorrido de observación y reconocimiento de todo el terreno cultivado o dispuesto para siembra y evaluación. El uso de drones en plantaciones muy extensas es de gran utilidad en esta labor. Dichos límites deben quedar señalados y debidamente identificados (numerados) en un mapa o croquis diseñado con dicho fin.

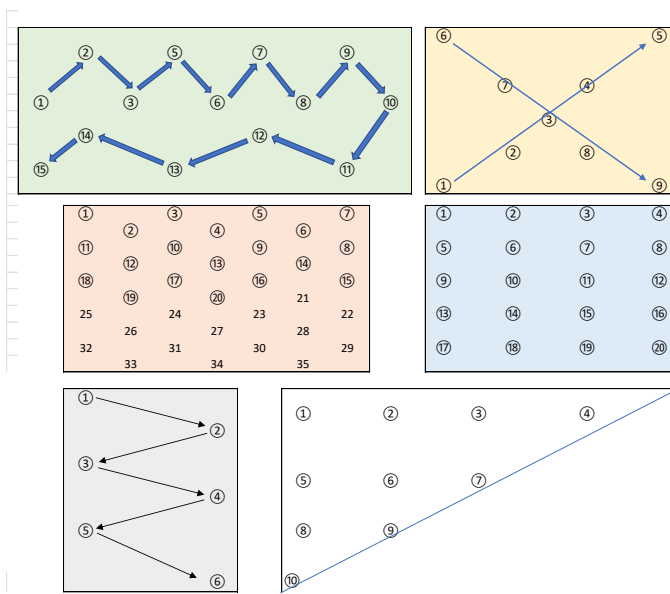


Figura 6. Recolección de muestras de suelo en el campo en forma de zig-zag, en X, rectángulo, triangular y cuadrícula.

¿Cuál criterio seguir entonces? La respuesta va inexorablemente ligada a cuatro factores que la determinan y condicionan: 1) la homogeneidad del terreno, 2) la extensión del área de cultivo, 3) lo que se desea medir y 4) la disponibilidad de recursos económicos para cubrir la inversión implicada. Terrenos homogéneos y pequeños requieren menos muestras. Como solución alternativa para resolver esta válida inquietud esta la opción de tomar submuestras para constituir una muestra compuesta, lo que permite incrementar la cobertura y estimar con buena aproximación el grado de variación existente.

I.4. Momento para muestrear

Esta variable resulta muy importante de establecer pues puede inducir a desajustes en la correcta interpretación y sobre todo aplicación posterior de los resultados del muestreo en el campo.

La mejor época para tomar la muestra debe coincidir con la proximidad en que se hará uso de los resultados, por lo que en el caso de la fertilización debiera ser en condición invernal con el ingreso de las primeras lluvias en los meses de abril-mayo o al momento de regar cuando se está en condiciones de secano (diciembre-marzo) y cuenta con riego. En materia de preparación de terrenos acontece algo similar.

I.5. Frecuencia de muestreo

Podría pensarse en principio que los suelos no cambian ni modifican su constitución fisicoquímica y microbiológica con el tiempo, al menos en lo que se estima periodos muy cortos; lo cual sin embargo como está suficientemente demostrado no es cierto, pues el suelo es un ente vivo que sufre impactos positivos y negativos que modifican o pueden cambiar significativamente su estructura, composición y actividad lo que condiciona y determina su potencial de uso agrícola rentable y competitivo.

Muchos son los ejemplos que podrían mencionarse para fundamentar la aseveración anterior y demostrar que el suelo puede cambiar en su composición y potencial, como acontece por ejemplo con la erosión (pérdida), el tránsito de equipo mecánico y maquinaria (compactación), eventos recurrentes de inundación y sequía, quema de biomasa, periodos de lluvia intensa y altas o bajas temperaturas, deposición de materiales orgánicos/minerales, incorporación de materiales orgánicos (recarbonización), incorporación de enmiendas (ej. cal), adición o no de fertilizantes minerales, uso intensivo y sobre explotación agropecuaria, sistemas agroproductivos en operación (manejo), biotipo de cultivo desarrollado (perenne, semiperenne, anual, ciclo corto), vegetación presente, deforestación, entre otros.

Como se infiere son numerosos y muy diferentes los factores y las variables que intervienen para definir la frecuencia en que se deben realizar los muestreos de campo; sin embargo, en el caso particular de la caña de azúcar existen algunos elementos conocidos que deben ser

imperativa e insoslayablemente tomados en cuenta al responder esta inquietud, como son:

- 1) El cultivo es por su naturaleza semiperenne en su uso comercial, pues se establecen como mínimo cosechas sucesivas por cinco periodos continuos, siendo sin embargo empresarialmente lo ideal y óptimo lograr más cosechas.
- 2) Por lo general el cultivo ocupa extensiones amplias de terreno para aplicar y optimizar las economías de escala.
- 3) La planta de caña es calificada como rústica y altamente extractora de nutrimentos del suelo, lo que viene asociado a su eficiente sistema radical (3 subsistemas), aparato fisiológico (C4), atributos anatómicos (IAF elevado 4-10) y genéticos por su condición poliploide como lo apuntara con mayor detalle Chaves (2020fi).
- 4) Planta con ciclo vegetativo anual y bianual (12-24 meses desde siembra a cosecha) (Chaves 2019a).
- 5) Uso intensivo en su manejo agronómico para sustentar su elevado nivel potencial de productividad.
- 6) Elevada producción potencial de biomasa en el campo (hasta 280 toneladas métricas de materia seca/ha/año) que debe ser sustentada por el suelo y el manejo incorporado.

Como se infiere, en el caso particular de la caña de azúcar como está demostrado los requerimientos nutricionales del cultivo y los niveles de extracción de elementos químicos del suelo favorecidos por la planta son muy altos cuando comparados con otros vegetales de uso comercial (Alfaro y Chaves 1999; Chaves 1986, 2017b, 2022), lo que justifica y obliga mantener un conocimiento continuo y actualizado de la condición y estado fisicoquímico del substrato y principal proveedor de nutrimentos: el suelo. Esta realidad lleva a sugerir realizar los muestreos de suelo en tres momentos en un ciclo comercial de cinco cosechas: durante la siembra y establecimiento de la plantación y posteriormente en el tercer ciclo (tercer año o segunda soca) y quinta cosecha del cultivo (cuarta soca), lo cual puede reducirse a periodos de dos años dependiendo de la disposición financiera.

I.6. Profundidad de muestreo

Considerando que el suelo es una estructura tridimensional con presencia de grandes variaciones fisicoquímicas y microbiológicas en sentido horizontal (extensión) y vertical (profundidad); lo que aunado a la gran capacidad de exploración que posee el poderoso sistema de raíces de la caña (Figura 7), obliga decidir con propiedad cuál es la profundidad más apropiada a la que se deben tomar las muestras de suelo buscando la mayor representatividad y precisión.



Figura 7. Sistema radical de la caña de azúcar.

Como apuntara y concluyera Chaves (2020f) al realizar una amplia revisión literaria, que “Es un hecho comprobado que la masa de raíces muestra una declinación exponencial conforme se profundiza en el suelo; encontrándose la mayoría de las raíces situada en los primeros 2 m superficiales, aunque hay informes de raíces a mayores profundidades. De igual manera pareciera encontrarse mayor volumen de raíz en sistemas de producción en verde con cosecha mecanizada, respecto a los de caña quemada y cortada manualmente.

La distribución en profundidad y la velocidad de crecimiento radicular están íntimamente vinculadas y determinadas por el genotipo, la edad de la planta, las condiciones físico-químicas del suelo y la disponibilidad hídrica, lo que impide establecer patrones y tendencias de comportamiento virtud de la dinámica, variabilidad y complejidad de los mecanismos implicados. Se ha constatado también que las raíces superficiales son las primeras en desaparecer durante un periodo seco; aunque también son las primeras en renovarse con la llegada de las lluvias o la aplicación de humedad.” Informa adicional y complementariamente el autor que, en plantaciones con riego las raíces se concentran primordialmente en los primeros 20 cm o donde la textura lo permita y la lámina de agua humedezca el suelo.

Agrega el mismo autor en torno al tema, que “La experiencia y la mayoría de los resultados aportados por la investigación, revelan que las raíces superficiales se localizan mayoritariamente en los primeros 60 cm de profundidad, su distribución y movimiento es preferiblemente horizontal y se localizan hasta los 2 m de longitud (crecimiento horizontal) o más, lo que depende del ambiente inmediato en particular en torno a la humedad disponible y la textura. Algunas investigaciones reportan encontrar un 75% de la masa radicular en los primeros 20 cm superficiales y el 55% en los 30 cm próximos a la cepa. Las raíces profundas son escasas. Se considera que en general, entre el 80-90% de las raíces operan en los primeros 40-60 cm de profundidad, lo que depende mucho del suelo y la humedad contenida en el mismo.”

En un estudio realizado por Alfaro y Ocampo (2015) donde evaluaron el sistema radicular de la caña de azúcar en tres periodos del desarrollo, “...encontraron con 3 repeticiones al evaluar 4 columnas (0-20; 20-40; 40-60 y 60-80 cm) de un suelo del orden Andisol, establecido en estañones plásticos (56 x 90 cm alto) y cultivado con la variedad Mex 79-431, que las raíces se encuentran en los primeros 40 cm al medirla a los 3, 6 y 9 meses de edad en porcentajes del 55,8%, 55,8% y 50,3%, respectivamente. En espesor las raíces variaron según profundidad al clasificarlas en 4 grosores (<1; 1-2; 2-3 y >3 mm), siendo el de 1-2 mm el más constante durante todo el ciclo. A los 3 meses el 33,7% de las raíces se encontró en los primeros 20 cm y el 87,8% fue de grosor menor a 2 mm. La medición de los 6 meses reveló para los mismos indicadores, índices de 34,2% y 38,5%; los cuales a los 9 meses correspondieron a 28,1% y 72,1%, respectivamente. En la sección menor a 20 cm se notó que a los 6 meses las raíces <1 mm se incrementaron respecto a los 3 meses, para luego descender a los 6 meses. Por su parte, las raíces con un grosor entre 1-2 mm se mantuvieron constantes en cantidad, contrario a las que tenían un diámetro entre 2 y 3 mm, las cuales descienden en proporción con el tiempo pasando del 50% a los 3 meses a un 15% a los 9 meses; igual comportamiento se presentó con las raíces de mayor diámetro (>3 mm). Las raíces de grosor >2 mm crecieron con el tiempo. Se encontró correspondencia lineal entre el crecimiento radicular y el foliar hasta los 6 meses, cuando el área foliar sobrepasó el volumen de las raíces, luego de lo cual se dio una merma en el desarrollo foliar. Concluyeron esos investigadores, que los obstáculos (densidad aparente aumentó con el tiempo) que encuentran las raíces en su crecimiento activo en el suelo, generaron una mayor producción de raíces secundarias más finas propensas a generar una mayor absorción de agua y nutrientes.”

Se infiere de lo anterior que **40 cm es una buena profundidad de muestreo** que da oportunidad para cubrir el espacio físico ocupado por las raíces adventicias superficiales, y también la zona de exploración del subsistema más profundo, proveyendo una lectura correcta del área efectiva de absorción de agua y nutrimentos. Sin embargo, **lo conveniente y recomendado es realizar el muestreo diferenciado en dos niveles de 0 a 20 cm y de 20 a 40 cm.**

1.7. Cantidad de muestras

No es entonces como se ha mencionado el tamaño de un lote o sección cultivada la que define el lugar y la cantidad de muestras por tomar para efectos de interpretar la condición o características de un suelo, pues lo más importante es su grado de homogeneidad; por lo cual una finca amplia pero homogénea puede requerir pocas muestras o por el contrario una pequeña muy variable podría requerir muchas más.

La cantidad de muestras y submuestras puede y es siempre uno de los elementos más cuestionados y consultados y por tanto sujeto a respuesta y recomendación. La primera definición en esta materia va orientada al tamaño de la sección o unidad muestral y, por

consecuencia, luego hacia el interior de ésta. Opina Barquero (1983) que esas secciones no deben ser superiores a 5 hectáreas, considerando a su vez un lote pequeño que no posea grandes diferencias como una sola unidad de muestreo. Agrega que en cada una de esas secciones se deben tomar muestras individuales en 10 a 20 puntos de muestreo distribuidos en toda el área.

Se considera que la cantidad de submuestras por muestra compuesta debe ser de al menos 20 en secciones de terreno amplias. Es importante señalar que el número de submuestras no depende necesariamente del tamaño del área a evaluar, pues igual número podría demandar un lote de 10 hectáreas que otro de apenas una. Entre más submuestras se tomen más representativa será la muestra y más precisa la determinación derivada. **Se sugiere para cultivos extensivos como la caña de azúcar, tomar una muestra compuesta cada 5 a 10 hectáreas dependiendo del área total de la finca o sección a muestrear y su grado de homogeneidad, bajando de 2 a 5 muestras en localidades con alta variación. La misma puede ser de 10 a 20 ha cuando la homogeneidad es muy alta.** Otros autores amplían el tamaño de la unidad de muestreo hasta 20 hectáreas en tierras sin fertilizar, extensas y homogéneas.

En lo estadístico está comprobado que el “error de muestreo” disminuye conforme se incrementa el número de muestras, aunque también el costo implicado en su análisis, motivo por el cual la cantidad se debe estimar con sumo cuidado evitando los excesos innecesarios o en contrario quedarse corto en la cantidad muestras por tomar. Seguir el criterio de muestras compuestas pareciera ser lo más prudente y recomendable. No existe una cantidad exacta de unidades suelo por tomar, lo cual como se indicó depende mucho de la homogeneidad del terreno.

1.8. Equipo e instrumentos requeridos

Para realizar el muestreo se debe disponer del equipamiento e implementos necesarios, como son:

- Mapa de la finca y croquis del terreno
- Barreno (tipo holandés, tubo, tornillo), pala o palín. Se recomienda el barreno por mantener una profundidad estable y extraer una cantidad de material muy similar. El uso de palín implica hacer un hoyo en forma de V y tomar la muestra removiendo de un lado una capa de tierra de 3 cm de grueso.
- Cilindros muestreadores caso se deba determinar Densidad Aparente
- Balde limpio
- Manta o plástico limpio para homogenizar y cuartear submuestras
- Bolsas plásticas
- Hoja de información
- Machete, cuchillo, espátula o navaja
- Lápiz y marcador
- Hojas y tarjetas para identificar la(s) muestra(s)

- Si fuese posible contar con un GPS (Global Positioning System)

1.9. Procedimiento por seguir

Como se ha expuesto con anterioridad es en primera instancia necesario y obligado contar con un plan de muestreo estratégicamente ubicado en espacio, tiempo, orientación y desagregado en las actividades específicas y puntuales por desarrollar, el cual se debe seguir y cumplir a cabalidad. El agricultor debe saber y tener claro cómo empezar y donde acabar.

Señala Barquero (1983) en torno al muestreo con fines nutricionales, que *“Los siguientes son los pasos básicos para obtener resultados deseados:*

- Muestreo en el campo*
- Análisis químico*
- Interpretación de los resultados de laboratorio*
- Recomendaciones de abonamiento.”*

De gran importancia previo a iniciar el muestreo es haber anticipadamente definido y ubicado espacialmente con criterio técnico y preferiblemente mediante un recorrido de campo, donde estarán situadas las unidades de muestreo (áreas con características similares), asegurando la máxima representatividad de áreas homogéneas en cuanto a indicadores similares como textura, grado de erosión, color, profundidad, tipo de vegetación presente, topografía (plana, ondulada, quebrada), productividad anterior, manejo del suelo en cuanto a mecanización, aplicación de enmiendas, fertilización, producción, etc. Un manejo diferente de la plantación sugiere cambio lo que requiere de muestras separadas, aun tratándose de un mismo suelo. Los puntos deberán marcarse con GPS para ubicar y repetir el mismo a futuro.

El tamaño de la unidad muestral dependerá del grado de uniformidad del terreno, el área total de la finca y la profundidad recomendada para la caña de 0 a 40 cm. Una vez definida la unidad de muestreo se hace el recorrido de campo para recolectar las submuestras y conformar las muestras de acuerdo con lo planificado (al azar, en zig-zag, cuadrícula, diagonal, rectangular o triangular, Figura 6).

Para obtener una muestra representativa de la unidad muestral es conveniente tomar **submuestras** que la conformen, constituyendo lo que se conoce como **muestra compuesta**. Las submuestras de suelo se toman y colocan en un balde para formar una muestra compuesta que puede tener un volumen importante dependiendo de la cantidad. El suelo se debe mezclar bien eliminando piedras, raíces, hojas, palos, contaminantes, etc., procediendo también a desmenuzar los terrones grandes. Luego de homogenizado el suelo se coloca y extiende en una manta o plástico en una superficie limpia, dividiéndola en cuatro partes iguales (cuarteo), de las cuales se desechan las dos opuestas y vuelven a homogenizar las otras. Si la muestra compuesta es mayor a 0,5 kg se deben realizar los cuarteos que sean necesarios hasta alcanzar esa

cantidad, la cual es colocada en una bolsa, etiquetada con la información e identificación básica necesaria que la ubique espacialmente.

Las submuestras deberán tomarse siempre respetando una misma profundidad (cm), con un volumen similar de suelo (kg) y bajo las mismas condiciones y procedimientos, asegurando con ello representatividad y mínimo error muestral.

Una vez preparada la muestra compuesta es enviada al laboratorio donde se procederá de conformidad con los protocolos analíticos correspondientes, los cuales si son de tipo químico deberá ser secada ya sea al aire o bien a temperaturas menores a 60°C, para ser pasada luego por una malla de 2 mm para homogenizar su tamaño, con lo cual queda lista para análisis. Cuando se miden variables vinculadas con la física de suelos es necesario medir la humedad gravimétrica por lo cual el procedimiento cambia radicalmente; al igual que en el caso de variables microbiológicas que requieren contar con humedad de campo para su valoración, por lo cual deben ser almacenadas en refrigeración inmediatamente a su recolección.

I.10. Tamaño de la muestra

Como se indicó con anterioridad es conveniente que la muestra sea simple o compuesta formada a partir de submuestras y contenga un peso cercano a 0,5 kilogramos de suelo, para lo cual de ser mayor se debe reducir mediante “cuarteos” sucesivos hasta alcanzar ese peso.

I.11. Identificación de las muestras

Luego de tomadas, preparadas y acondicionadas las muestras es necesario identificarlas correctamente para proceder con su análisis en el laboratorio, para lo cual se debe consignar en cada muestra lo siguiente:

- Nombre del agricultor dueño de la finca
- Disponer y anotar en una libreta de trabajo la información necesaria
- Asignar un código de referencia
- Colocar una etiqueta de identificación con la información básica
- Anotar la fecha de muestreo
- Indicar con exactitud el lugar donde fue tomada la muestra: provincia, cantón, distrito, localidad y dirección
- Ubicar el punto exacto de muestreo para lo cual puede emplearse el GPS
- Anotar información complementaria de valor al momento de ubicar e interpretar resultados, como es: variedad sembrada, ciclo vegetativo, fertilización aplicada, quema o no, manejo, etc.

La muestra etiquetada con la información básica (dueño, lugar de procedencia, código, cultivo, fecha) se debe enviar lo más pronto posible al lugar donde será analizada, donde caso de haber alguna limitación o demora es conveniente mantener la bolsa contenedora abierta para que pierda humedad y se dé un secado ambiente natural.

I.12. Cuidados y precauciones

Como principio precautorio elemental se debe evitar mezclar muestras de suelo obtenidas en profundidades o unidades de muestreo diferentes, obtener muestras de plantaciones recién fertilizadas requiriendo dejar para ello un tiempo prudencial no menor a un mes luego de enclado o fertilizado. Tampoco es conveniente tomar muestras de suelos recién quemados, donde hubo acumulo de materiales orgánicos o están sujetos a deposiciones pecuarias o agroindustriales, sean líquidas (orina, aguas residuales, vinazas, efluentes) o sólidas (estiércol, cachaza, cenizas de caldera, etc.). Muestras tomadas cerca de ríos, viviendas, establos, caminos, carreteras, cercas limítrofes, basureros o procedentes de condiciones diferentes al resto de la unidad muestreada son fuentes potenciales de posible variación que eleva la variación de los análisis y con ello el sesgo muestral.

No se deben utilizar como recipiente contenedor baldes y/o bolsas que hayan contenido fertilizantes o sustancias que puedan contaminar la muestra; tampoco se debe muestrear después de un riego o lluvia, sugiriendo esperar por lo menos dos días. Las medidas restrictivas que se adopten en asegurar la pureza y representatividad de la muestra tomada van en beneficio directo de la calidad de la inferencia que se obtenga de la misma (Chaves 2021b).

Los errores más comunes que se cometen al realizar un muestreo de suelos ocurren en varias etapas del proceso, donde se deben adoptar todas las medidas precautorias necesarias, como son:

- Error al seleccionar y ubicar las áreas de muestreo
- Error al definir y establecer la extensión del área por muestrear
- Error en la cantidad de muestras y submuestras tomadas
- Error en la operación de toma, tratamiento y preparación de la muestra

J. Análisis de las muestras ¿Qué determinar?

Son varios los factores y elementos constituyentes del suelo que pueden conocerse mediante el muestreo de suelos, entre los cuales se tienen los relacionados con la textura, el grado de acidez, el contenido catiónico (bases) y sus relaciones, el contenido de macro (N, P, K, Ca, Mg y S) y micronutrientes (Zn, Cu, Fe, Mn, B, Mo), entre otros, como se detalla a continuación:

- Textura del suelo (porcentaje de arena, limo y arcilla)
- Densidad Aparente (g/cm^3 o kg/m^3)
- La condición de acidificación (pH en agua)
- Acidez Intercambiable ($\text{Al}^{+3} + \text{H}^+$)
- Grado de Saturación (%) por Acidez
- Suma de Bases Intercambiables ($\text{Ca}^{+2} + \text{Mg}^{+2} + \text{K}^+$)

- Capacidad de Intercambio Catiónico Efectiva (CICE = $\text{Ca}^{+2} + \text{Mg}^{+2} + \text{K}^{+}$ + Acidez Intercambiable)
- Disponibilidad de nutrimentos catiónicos esenciales (Ca^{+2} , Mg^{+2} , K^{+})
- Equilibrios Catiónicos (Ca/Mg , Ca/K , Mg/K , $\text{Ca}+\text{Mg}/\text{K}$)
- Contenido de Azufre (S)
- Contenido de Micronutrientes (P, Zn, Cu, Fe, Mn, B, Mo)
- Grado de Fijación o Retención de Fósforo (P)
- Solubilidad y actividad del Hierro (Fe^{+3})
- Contenido de Materia Orgánica (%)

Otros indicadores pueden ser también incorporados dependiendo del objetivo y destino del análisis como son los vinculados con la física del suelo como determinación de la Densidad de Partículas (kg/m^3), porosidad, espacio aéreo (macro y microporos), masa de sólidos, consistencia, adhesividad, resistencia al corte y la penetración, tipos de agua, succión y movimiento del agua, conductividad hidráulica y eléctrica, estudios mineralógicos, curvas de absorción y desadsorción y aspectos biológicos del suelo, entre otros.

K. Conclusión

La producción de caña de azúcar depende en alto grado de la capacidad y disponibilidad que tengan los suelos de ser capaces de proveer lo necesario, para que el cultivo pueda desarrollar todo su potencial genético intrínseco y generar altos índices de productividad agroindustrial de forma sostenida. La necesidad de hacer un uso racional y sostenible de los recursos naturales, como es el recurso suelo, ha conducido al hombre a estudiar y tener un mayor conocimiento de sus características y propiedades.

La capacidad de un suelo para desarrollar y mantener comercialmente competitivo un cultivo como la caña es un excelente y revelador indicador de su estado de fertilidad natural; capacidad que varía significativamente con las diferencias morfológicas, pedogenéticas y mineralógicas asociadas con la formación, la fisicoquímica y biología y reveladas parcialmente a través de la taxonomía de estos. Las diferencias pueden provenir de causas naturales como son los cambios abruptos en pendiente, vegetación o relieve; pero también a motivos inducidos por el hombre, como son una corrección de acidez o fertilización de la plantación, pudiendo determinarse tanto en sentido vertical como horizontal al observar dos perfiles de suelo.

En primera instancia debemos entender que el suelo no es un ente muerto e inerte, sino por el contrario, un cuerpo complejo, activo, muy dinámico y en constante transformación. Dichos cambios graduales inducen modificaciones de fondo en sus características y propiedades fisicoquímicas y microbiológicas que afectan sus principales constituyentes asociados con las materias sólidas, hídricas y gaseosas; los cuales pueden crear y provocar estados inadecuados de infertilidad para la producción eficiente, rentable y competitiva de los cultivos. Los

nutrientes esenciales y presencia de otros elementos poco deseables pueden encontrarse en cantidades y estados de solubilidad y disponibilidad limitante para el desarrollo normal del ciclo vegetativo de las plantas y por ende de su capacidad productiva agroindustrial.

Tantos contenidos, formas químicas, grados de solubilidad y potencial absorbible de los elementos minerales pueden ser determinados por medio de los análisis de suelo y tejidos vegetales. Dichos análisis serán la base de las inferencias y recomendaciones que sobre fertilización y corrección de suelos se establezcan en una plantación comercial, para lo cual el muestreo del suelo resulta determinante y obligado de realizar siguiendo los criterios técnicos y procedimientos que mayor representatividad y precisión ofrezcan a los resultados finales. La calidad de los resultados dependerá de laboratorio dependerá de la exactitud del método y del procedimiento empleado en el muestreo.

En el caso particular de la caña de azúcar lo recomendable es practicar el muestreo de suelos en los años 1 (planta), 3 y 5 del ciclo vegetativo, tomando muestras compuestas de al menos 20 submuestras para conformar una sola muestra con un peso de 0,5 kilogramos en lotes, secciones o unidades muestrales con tamaño entre 5 y 10 hectáreas dependiendo del grado de homogeneidad que presenten. En lotes muy homogéneos puede elevarse a 10-20 hectáreas, aunque si fueran muy desiguales puede entonces reducirse a 2-5 ha. La toma de la muestra para análisis se debe tomar en la sección media ubicada entre la cepa o surco de caña y el centro del entresurco. La profundidad de muestreo sugerida se establece hasta 40 cm desagregada en dos muestras obtenidas a honduras de 0-20 y 20-40 cm. La mejor época para tomarla debe coincidir con la proximidad de uso de los resultados, por lo que en el caso de la fertilización debiera ser en condición invernal con el ingreso de las lluvias en los meses de abril-mayo o al momento de regar en condiciones de secano (diciembre-marzo).

L. Literatura citada

- Alfaro, R.; Chaves, M. 1999. **Observaciones sobre la capacidad de extracción y agotamiento nutricional de un Ultisol cultivado con caña de azúcar.** En: Congreso Nacional Agronómico y de Recursos Naturales, 11, Congreso Nacional de Entomología, 5, Congreso Nacional de Fitopatología, 4, Congreso Nacional de Suelos, 3, Congreso Nacional de Extensión Agrícola y Forestal, 1, San José, Costa Rica, 1999. Memoria: *Recursos Naturales y Producción Animal*. San José, Colegio de Ingenieros Agrónomos: EUNED, julio. Volumen III. p: 36. *También en:* Participación de DIECA en el XI Congreso Nacional Agronómico y de Recursos Naturales. San José, Costa Rica. LAICA-DIECA, julio 1999. p: 153. *También en:* Congreso de ATACORI "Randall E. Mora A.", 13, Guanacaste, Costa Rica, 1999. Memoria. San José, Asociación de Técnicos Azucareros de Costa Rica, setiembre. p: 84.

- Alfaro Portugués, R.; Ocampo Chinchilla, R. 2015. **Evaluación del sistema radicular en tres periodos del desarrollo de la caña.** En: Congreso Tecnológico DIECA 2015, 6, Coopevictoria, Grecia, Alajuela, Costa Rica. Memoria. Departamento de Investigación y Extensión de la Caña de Azúcar (DIECA), 20 y 21 de agosto del 2015. 12 p.
- Angulo, A.; Chaves, M.; Segura, C. 1996. **Evaluación de cuatro modalidades empleadas para el muestreo y diagnóstico de suelos cañeros en el Ingenio Taboga, Guanacaste.** En: Congreso Nacional Agronómico y de Recursos Naturales, 10, Congreso Nacional de Fitopatología, 3, Congreso Nacional de Suelos, 2, San José, Costa Rica, 1996. Memoria: *Suelos*. San José, Colegio de Ingenieros Agrónomos, Asociación Costarricense de Fitopatología y Asociación Costarricense de Suelos: EUNED, EUNA, julio. Volumen III. p: 147. También en: Congreso de ATACORI “*Cámara de Productores de Caña del Pacífico*”, 10, Hotel Sol Playa Hermosa, Guanacaste, Costa Rica, 1996. Memoria. San José, Asociación de Técnicos Azucareros de Costa Rica, setiembre. p: 35.
- Barquero M., E. 1983. **Amigo cañero. Analice su suelo antes de fertilizarlo.** Boletín Informativo DIECA (Costa Rica) Año 1, Nº 3, San José. p: 1-2.
- Costa de Lemos, R.; Dos Santos, R.D. 1984. **Manual de Descrição e Coleta de Solo no Campo.** 2ª Edição. Campinas, São Paulo. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo (SBCS) e Servicio Nacional de Levantamento e Conservação de Solos (SNLCS). 46 p.
- Chaves Solera, M.A. 1986. **Requerimientos, extracción y remoción de nutrientes por la caña de azúcar.** Boletín Informativo DIECA (Costa Rica) Año 4, Nº 29, San José. p: 1-2.
- Chaves Solera, M. 1999. **El Nitrógeno, Fósforo y Potasio en la caña de azúcar.** San José, Costa Rica. LAICA-DIECA, setiembre. 130 p.
- 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.
- Chaves Solera, M.A. 2017a. **Suelos, nutrición y fertilización de la caña de azúcar en Costa Rica.** En: Seminario Internacional Producción y Optimización de la Sacarosa en el Proceso Agroindustrial, 1, Puntarenas, Costa Rica, 2017a. Memoria Digital. San José, Costa Rica, Asociación de Técnicos Azucareros de Costa Rica (ATACORI), octubre 10 al 12, Hotel Double Tree Resort by Hilton. 38 p.
- Chaves Solera, M.A. 2017b. **Taxonomía de los suelos sembrados con caña de azúcar en Costa Rica: Ordenes y Subordenes presentes.** En: 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.
- Chaves Solera, M.A.; Chavarría Soto, E. 2017a. **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.
- Chaves Solera, M.A.; Chavarría Soto, E. 2017b. **Tipos de suelo y producción de caña de azúcar en Costa Rica: Primera aproximación taxonómica.** En: Congreso Nacional de Suelos, 9, San José, Costa Rica, 2017. Memorias. San José, Costa Rica, Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo (ACCS), octubre 25 al 27, Hotel Crowne Plaza San José Corobici. 6 p.
- Chaves Solera, M.A. 2019a. **Clima y ciclo vegetativo de la caña de azúcar.** Boletín Agroclimático 1(7): 5-6, julio.
- Chaves Solera, M.A. 2019b. **Entornos y condiciones edafoclimáticas potenciales para la producción de caña de azúcar orgánica en Costa Rica.** En: Seminario Internacional: *Técnicas y normativas para producción, elaboración, certificación y comercialización de azúcar orgánica.* Hotel Condovac La Costa, Carrillo, Guanacaste, Costa Rica, 2019. Memoria Digital. San José, Costa Rica, Asociación de Técnicos Azucareros de Costa Rica (ATACORI), 15, 16 y 17 de octubre, 2019. 114 p.
- Chaves Solera, M.A. 2019c. **Ambiente agro climático y producción de caña de azúcar en Costa Rica.** Boletín Agroclimático (Costa Rica) 1(18): 5-10, noviembre-diciembre.
- Chaves Solera, M.A. 2020a. **Implicaciones del clima en la calidad de la materia prima caña de azúcar.** Boletín Agroclimático (Costa Rica) 2(1): 5-12, enero.
- Chaves Solera, M.A. 2020b. **Participación del clima en la degradación y mineralización de la materia orgánica: aplicación a la caña de azúcar.** Boletín Agroclimático (Costa Rica) 2(12): 6-17, junio.
- Chaves Solera, M.A. 2020c. **Clima, degradación del suelo y productividad agroindustrial de la caña de azúcar en Costa Rica.** Boletín Agroclimático (Costa Rica) 2(15): 5-13, julio.
- Chaves Solera, M.A. 2020d. **Clima, acidez del suelo y productividad agroindustrial de la caña de azúcar en Costa Rica.** Boletín Agroclimático (Costa Rica) 2(18): 8-17, agosto.
- Chaves Solera, M.A. 2020e. **Clima y erosión de suelos en caña de azúcar en Costa Rica.** Boletín Agroclimático (Costa Rica) 2(16): 7-16, agosto.
- Chaves Solera, M.A. 2020f. **Sistema radicular de la caña de azúcar y ambiente propicio para su desarrollo en el suelo.** Boletín Agroclimático (Costa Rica) 2(13): 6-18, junio. También en: Revista

- Entre Cañeros N° 17. Revista del Departamento de Investigación y Extensión de la Caña de Azúcar (DIECA). San José, Costa Rica, setiembre. p: 51-71.
- Chaves Solera, M.A. 2020g. **Materia orgánica y disponibilidad de nitrógeno para la caña de azúcar.** Boletín Agroclimático (Costa Rica) 2(21): 6-16, octubre.
- Chaves Solera, M.A. 2020h. **Agroclimatología y producción competitiva de caña de azúcar en Costa Rica.** Boletín Agroclimático (Costa Rica) 2(24): 5-13, noviembre.
- Chaves Solera, M.A. 2020i. **Atributos anatómicos, genético y eco fisiológicos favorables de la caña de azúcar para enfrentar el cambio climático.** Boletín Agroclimático (Costa Rica) 2(11): 5-14, mayo.
- Chaves Solera, M.A. 2021a. **Estrés mineral y caña de azúcar en Costa Rica.** Boletín Agroclimático (Costa Rica) 3(11): 5-21, mayo.
- Chaves Solera, M.A. 2021b. **Factores que intervienen y modifican la eficiencia y efectividad de la fertilización y los fertilizantes nitrogenados en la caña de azúcar.** Boletín Agroclimático (Costa Rica) 3(13): 5-20, junio.
- Chaves Solera, M.A.; Chavarría Soto, E. 2021e. **Distribución geográfica de las plantaciones comerciales de caña de azúcar en Costa Rica según altitud y localidad.** Revista Entre Cañeros N° 20. Revista del Departamento de Investigación y Extensión de la Caña de Azúcar (DIECA). San José, Costa Rica, julio. p: 5-35.
- Chaves Solera, M.A. 2022. **Nutrición de la Caña de Azúcar.** Presentada en Curso para optar al Diplomado Internacional sobre Nutrición de Cultivos -Caña de Azúcar. Organizado e impartido por el Instituto para la Innovación Tecnológica en la Agricultura (INTAGRI) de México para Latinoamérica. Heredia, Costa Rica. 24 de Junio 2022. Presentación Electrónica en Power Point 89 láminas.
- FAO. 2019. **Measuring and modelling soil carbon stocks and stock changes in livestock production systems: Guidelines for assessment (Version 1).** Livestock Environmental Assessment and Performance (LEAP) Partnership. Rome, FAO. 170 p. Licence: CC BY-NC-SA 3.0 IGO.
- Méndez, J.C.; Bertch Hernández, F. 2012. **Guía para la interpretación de la fertilidad de los suelos de Costa Rica.** 1ed. San José, costa Rica: Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo (ACCS). 108 p.
- Mendoza, R.B.; Espinoza, A. 2017. **Guía Técnica para Muestreo de Suelos.** Managua, Nicaragua. Universidad Nacional Agraria y Catholic Relief Services (CRS). Agosto. 56 p.
- Petersen, R.G.; Calvin, L.D. 1986. **Sampling.** In: Methods of Soil Analysis. Part 1 Physical and Mineralogical Methods. 2 ed. Ed. Klute, A. American Society of Agronomy, Agronomy Monographs 9(1), Madison, Wisconsin, p: 33-51.
- Ramírez, G. 1990. **Toma de muestras de suelos.** San José, CR. Unidad de Suelos - MAG. Boletín Divulgativo N° 74. 3 ed. 10 p.
- Ramírez Castillo, F. 2005. **El Muestreo de Suelos.** San José, Costa Rica. MAG/INTA/Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo (ACCS). 6 p.
- Schweizer Lassaga, S. 2011. **Muestreo y análisis de suelos para diagnóstico de fertilidad.** San José, Costa Rica. Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria (INTA). Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG). 18 p.
- 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.

CRÉDITOS BOLETÍN AGROCLIMÁTICO

Producción y edición del Departamento de Desarrollo

Meteoróloga Karina Hernández Espinoza

Ingeniera Agrónoma Katia Carvajal Tobar

Geógrafa Nury Sanabria Valverde

Geógrafa Marilyn Calvo Méndez

Modelos de tendencia del Departamento de

Meteorología Sinóptica y Aeronáutica

INSTITUTO METEOROLÓGICO NACIONAL