

**DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN Y EXTENSIÓN
DE LA CAÑA DE AZÚCAR**



**MANEJO DE LA FERTILIZACIÓN EN
PLANTACIONES DE CAÑA DE AZÚCAR
(*Saccharum spp*) EN ANDISOLES DE LADERA
DE COSTA RICA**

**Marco A. Chaves S.^{1/}
Alfredo Alvarado H.**

**SAN JOSE, COSTA RICA
JULIO 1994**

CONTENIDO

	Página
SUMARIO	1
DESARROLLO	6
RESUMEN	7
INTRODUCCION	7
A. DESARROLLO	9
A.1 Localización	9
A.2 Importancia socio-económica	10
A.3 Clima	10
A.4 Suelos	13
A.4.1 Propiedades mineralógicas	15
A.4.2 Propiedades físicas	16
A.4.3 Fertilidad	17
A.5 Variedades cultivadas	21
A.6 Encalado y Fertilización de Plantaciones Comerciales	22
B. CONCLUSIONES	36
C. LITERATURA CITADA	37

SUMARIO

SUMARIO

INTRODUCCIÓN: La caña de azúcar constituye una actividad productiva agroindustrial de gran importancia socioeconómica para Costa Rica, con una representatividad del 4% en el valor Bruto de Producción Agropecuaria Nacional y una elevada participación de productores independientes. El cultivo se encuentra distribuido en un piso altitudinal que va de 0 a 1.600 msnm, con presencia de topografías variables cuya pendiente oscila entre 0 y 50%, condiciones edafoclimáticas diferentes con predominancia según importancia de los órdenes de suelo: Inceptisol, Andisol, Ultisol, Mollisol, Vertisol, Alfisol y Entisol, respectivamente. En las regiones cañeras superiores a los 700 msnm predominan Andisoles de los grupos Melanudans, Hapludans y subgrupos Ándicos de otro orden, con pendientes entre 5 y 50% que representan aproximadamente un 20,6% del área total cultivada con caña en el país.

Las diferencias en suelos y clima, la gran variabilidad en los clones comerciales cultivados, el manejo agronómico aplicado y la respuesta a la adición de nutrimentos esenciales, se refleja en los rendimientos agroindustriales obtenidos. El objetivo del presente trabajo, es mostrar algunas características de los Andisoles de ladera cultivados con caña de azúcar en Costa Rica, y la influencia que han ejercido en el manejo agronómico y la fertilización comercial.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN: El área cañera influenciada por la actividad volcánica y que ha dado origen a los Andisoles, se encuentra ubicada en un piso altitudinal que va aproximadamente desde los 700 hasta los 1.600 msnm, donde se identifican dos zonas específicas. La zona de mayor altitud (>1.100 msnm), presenta un complejo arcilloso dominado por materiales mineralógicamente poco ordenados, conocidos como Alofanos. Bajo estas condiciones la textura es franco arcillosa, la densidad aparente (método del cilindro) que fluctúa entre 0,4 y 1,1 g/cm² para los Andisoles es en esa altitud inferior a 0,85 g/cm², la densidad de partículas varía de 2,1 a 2,4 g/cm² y la porosidad es por lo general superior al 50%, los contenidos de materia orgánica (Walkey – Black) son superiores al 10% confiriéndole una coloración oscura a los suelos. La fijación del fósforo en esa zona es superior al 85%, en tanto que, la estabilidad de los agregados es muy elevada lo que reduce significativamente la erosión en un área en la que por sus condiciones climatológicas naturales no se requiere riego. Los suelos poseen por lo general, una profundidad superior a 1,00 m. En este nivel altitudinal se cultivan comercialmente en orden de importancia, variedades predominante de origen Hawaiano, como es el caso de: H 60-8521, H 57-5174, H 68-1158, H 61-1721, H 62-4671, H 70-0144, H 44-3098 y H 32-8560, principalmente, cuyo ciclo vegetativo varía entre 14 y 24 meses. Esta zona puede diferenciarse a su vez en dos localidades con régimen de humedad Ústico, en las cuales una posee un periodo seco prolongado de más de 120 días y la otra inferior a 60 días. La zona de altitud intermedia (700 a 1.100 msnm), se caracteriza por poseer un complejo arcilloso dominado por Halosita, con una proporción menor de materiales amorfos respecto a la zona alta. La densidad aparente en este caso varía en promedio de 0,6 a 0,9 g/cm³, y los contenidos de materia orgánica son inferiores al 10%, razón por la cual los suelos son de color pardo-rojizo. La textura es franco arcilloso o más fina, lo que favorece una elevada estabilidad de agregados. La fijación de fósforo entre 60 y 85%, existiendo durante el periodo seco necesidad de riego. Las variedades cultivadas en este nivel son de origen diverso, como es el caso de: SP 70-1143, SP 71-1406, SP 71-3149, SP 71-5574, Q 96, PINDAR, B 47-44, Co 421, Mex 57-473 y LAICA 82-135, con ciclos vegetativos de 11 a 14 meses de edad. Actualmente esta zona es la que mejores productividades de caña y azúcar (t/ha) genera, manteniendo además un grado de concentración de sacarosa en los tallos

(96° polarización) adecuado (109,18 kg/t). Numerosos estudios de nutrición y fertilización realizados en ambas zonas, indican que en orden de importancia los nutrientes más limitantes y de mayor respuesta a la producción son: N>P>>Ca>K>Mg>Zn>S>B; experimentalmente, las necesidades de fertilización comercial (kg/ha) en este orden de suelos se han establecido en 120-250 kg de N, 130-200 Kg de P₂O₅, 120-250 Kg de K₂O, 500-2000 Kg de CaCO₃, 30-40 kg de MgO, 20-30 kg de Zinc, 40-70 kg de S como SO₄ y 10-15 kg de B₂O₃, respectivamente, para ambas zonas, con respuesta diferencial a su adición particularmente a partir del segundo año de cultivo, según sea en condición de planta o retoño, duración del ciclo vegetativo, variedad cultivada, altitud y características físico-químicas y topográficas del suelo. Está suficientemente demostrado que las variedades de origen Hawaiano requieren mayores dosis de nutrientes, principalmente N y K, debido a lo prolongado de su ciclo y especial avidez por esos elementos.

Bajo condiciones comerciales y a pesar de que las concentraciones de K intercambiable (Solución Olsen Modificado) en el suelo, son por lo general superiores a 0,2 Cmol (+)/l, el cultivo responde favorablemente a su adición en términos de productividad de azúcar. De manera similar y a pesar que el problema de la acidez del suelo no es detectable satisfactoriamente por los métodos analíticos de rutina, la respuesta al encalado es muy significativa, principalmente cuando se complementa adecuadamente con fertilizantes fosfóricos.

CONCLUSIONES: La planta de caña de azúcar induce estabilidad a los terrenos agrícolas de ladera, minimizando significativamente los efectos erosivos provocados por la topografía irregular, lo que aunado a la importante fuente de trabajo que representa por su cercanía a los centros urbanos y su excelente complemento con la actividad cafetalera, con la cual ha establecido un “binomio productivo”, proporcionan un importante grado de sostenibilidad ecológica y social. A diferencia de otras zonas cañeras del trópico, la respuesta a los macronutrientes es superior, así como la combinación de micronutrientes en diferente, lo que aunado a las condiciones climáticas conduce a una mayor concentración de sacarosa respecto a la zona baja (0 – 400 msnm). Este hecho es de suma relevancia en virtud de que el pago de la caña se realiza en Costa Rica con base en el contenido de sacarosa en los tallos. La profundidad de los suelos con influencia volcánica, asegura estabilidad actual y sostenibilidad futura de los índices productivos, lo cual se ve favorecido por el aporte nutricional que los materiales depositados proveen con el paso del tiempo y que induce una vida comercial de las plantaciones más prolongada. La fertilización representa una práctica de efectos altamente favorable sobre la productividad de caña y azúcar, que requiere de una baja inversión económica equivalente al 8,16% de los costos generales de producción para un ciclo de cinco cosechas.

DESARROLLO

RESUMEN

El área cultivada con caña de azúcar en suelos de origen volcánico es importante en Costa Rica, razón por la cual el presente trabajo evidencia algunas características de los Andisoles de ladera cultivados con esa gramínea y la influencia que éstos han ejercido en el manejo agronómico y la fertilización comercial. Las diferencias edafoclimáticas presentes en un piso altitudinal que va de 700 a 1.600 msnm, inducen importantes variaciones que afectan los patrones de productividad agroindustrial y rentabilidad económica de la actividad azucarera. De acuerdo con las pruebas experimentales de nutrición y fertilización realizadas en ese tipo de suelos, la respuesta de los nutrientes es en orden de importancia el siguiente: N>P>>Ca>K>Mg>Zn>S>B. Las necesidades (Kg/ha) de fertilización comercial se han establecido en 120-250 Kg de N, 130-200 kg de P₂O₅, 120-250 kg de K₂O, 500-2000 kg de CaCO₃, 30-40 Kg de MgO, 20-30 kg de Zn, 40-70 kg de S como SO₄ y 10-15 kg de B₂O₃, respectivamente; con respuesta diferencial según sea en condición de planta o retoño, duración del ciclo vegetativo, variedad cultivada, altitud, características físico-químicas y topográficas del suelo. La fertilización constituye un factor de productividad de caña y azúcar fundamental, que provee importantes beneficios económicos a un costo de inversión relativamente bajo.

Introducción

La agroindustria del azúcar ha representado históricamente para Costa Rica, una actividad de trascendental importancia por su determinante desempeño socioeconómico. El azúcar constituye un rubro cuyo aporte se ha ubicado entre 4,0 y 6,0% del Producto Interno Bruto Agropecuario (28), y una participación aproximada de 5.000 productores con estratos variables de representatividad en lo que respecta a área cultivada, predominando la figura del pequeño agricultor cuya área sembrada es inferior a 20 hectáreas.

Trabajo presentado en el “15th World Congress of Soil Science. International Society of Soil Science (ISSS)”, celebrado en Acapulco, México, entre el 11 y el 15 de Julio de 1994. Volumen 7^a. p: 353-372. Publicado también por LAICA-DIECA en Julio de 1994. 41 p.

1. Director Ejecutivo. Dirección de Investigación y Extensión de la Caña de Azúcar (DIECA), Teléfono: (506) 2284-6066 Fax: (506) 2223-0839, e-mail: mchavez@laica.co.cr.

2. Director. Centro de Investigaciones Agronómicas (CIA), Universidad de Costa Rica, Apartado 2060 San Pedro de Montes de Oca, San José, Costa Rica. Tel. (506) 2224-3712, Fax: (506) 2234-1627.

La estructura productiva actual revela que del total de la caña procesada en el país, un 52,8% es producida en el propio ingenio, en tanto que, un 47,2% procede de productores particulares, lo cual evidencia el equilibrio existente entre productores privados y entregadores particulares. En el año 1993, el país mantenía cultivadas con caña para fines apenas azucareros (no paneleros) un total de 43.314 hectáreas, de las cuales un 57,4% se ubican en el Pacífico Seco representado por las provincias de Guanacaste y Puntarenas, región más importante y en activa evolución tecnológica (27,28).

La caña de azúcar se siembra en Costa Rica en un piso altitudinal que va desde los 0 hasta los 1.600 msnm, lo que induce fuertes variaciones en las condiciones edafoclimáticas y de manejo que predominan en las áreas geográficas y localidades involucradas. El cultivo se encuentra establecido en suelos de diversas características físico-químicas y microbiológicas, tipificadas por los siguientes órdenes de suelo predominantes en orden de importancia: Inceptisol, Andisol, Ultisol, Mollisol, Vertisol y en menor grado Alfisol y Entisol. Existen diferencias importantes en los regímenes de humedad presentes, que obligan al empleo del riego o aplicación de medidas de avenamiento, según sea la condición predominante.

Un hecho importante que conduce a modificación profunda de las prácticas de manejo agrícola, lo constituye la gran variación existente en la topografía de los terrenos, lo que limita severamente las posibilidades de mecanización al haber pendientes que van de 0 a 50% y mayores en casos extremos, lo cual prevalece mayoritariamente en las áreas superiores a los 900 msnm.

La caña es un cultivo que tradicionalmente ha demandado poco fertilizante, como lo demuestra el hecho que para el año 1990 el café utilizó el 31% del fertilizante producido en el país y el banano un 24%, lo que conjuntamente significó un 55% del total; la caña en tanto, apenas consumió en ese mismo periodo el 3,8%.

Durante los años 1992 y 1993 la caña utilizó un volumen de 14.700 y 14.070 TM, equivalentes al 5% en ambos casos; para 1994 se proyecta un consumo de 15.155 TM con igual representatividad, lo que es bajo para la tendencia de incremento que mantiene la agricultura costarricense respecto al uso de fertilizantes.

Con el objeto de superar las limitantes y maximizar la eficiencia técnica y económica de la agroindustria azucarera costarricense, permanentemente se adoptan medidas de diversa naturaleza, intensidad y alcance, que pretenden fundamentalmente hacer la actividad competitiva y rentable. Para la materialización de esta pretensión, las características del entorno son determinantes, en virtud de que proveen elementos (favorables o desfavorables) que según sea su naturaleza, intensidad, duración, efecto antagónico o sinérgico inducido, etc, pueden capitalizarse como una "ganancia" o una "limitante" intrínseca de la localidad o región específica. La fertilidad natural de un suelo aunada a otras características del medio, como elemento potencial de productividad, constituye un renglón diferenciador determinante y de gran importancia en la obtención de altos rendimientos agroindustriales en el cultivo de la caña en forma sostenida y sin deterioro del medio ambiente.

En vista de lo anterior, se pretende a través del presente documento, mostrar algunas características de los Andisoles de ladera cultivados con caña de azúcar en Costa Rica, y la influencia que han ejercido en el manejo agronómico y la fertilización comercial.

A. DESARROLLO

Para la satisfacción del objetivo planteado se identificó y seleccionó en principio, una importante región cultivada con caña de azúcar, que posee fuerte influencia volcánica y suelos clasificados según criterio del SOIL SURVEY STAFF (1990), como pertenecientes en su mayor parte al orden Andisol. Complementariamente, se recavó información técnica correspondiente a factores de manejo y respuesta de las plantaciones de caña a la aplicación de fertilizantes, todo lo cual se expone a continuación.

A.1 LOCALIZACION

Costa Rica es una nación de fuerte influencia tectónica que posee varios volcanes con actividad variable, que se concentran principalmente en la Región (Valle) Central del país, las faldas de la Cordillera de Guanacaste y la Región de Coto Brus en la Zona Sur, que han dado origen a suelos tipificados como Andisoles. El área cultivada con caña de azúcar mayoritariamente ubicada en ese tipo de suelo se encuentra en el Valle Central del país en las provincias de Alajuela, Cartago y Heredia.

Una de las áreas seleccionada se encuentra en un piso altitudinal que va desde los 700 hasta los 1.550 msnm y se localiza entre las coordenadas 10° 00', - 10° 08', latitud norte y 84° 07' - 84° 25' longitud oeste, que ubica las áreas productoras del Valle Central Occidental influenciadas por los volcanes Poás (2.704 msnm) y Barva (2.906 msnm), denominada en adelante Región 1. Asimismo, las coordenadas 09° 53' - 09° 56' latitud norte y 83° 43' - 83° 48' longitud oeste ubican la zona productora del Valle Central Oriental, identificada como Región 2 y que va de 860 a 1.600 msnm, la cual ha sido influenciada a su vez por los volcanes Irazu (3.432 msnm) y Turrialba (3.328 msnm).

La Región 1 incluye áreas tradicionalmente cultivadas con caña de azúcar como son los cantones de Grecia, Valverde Vega, Naranjo, Atenas, Poás y San Ramón de Alajuela, así como Santa Bárbara de Heredia. Por su parte, la Región 2 incluye los cantones de Paraíso, Jiménez, Alvarado y parte de Turrialba pertenecientes a la provincia de Cartago, respectivamente.

A.2 IMPORTANCIA SOCIO-ECONÓMICA

El área seleccionada es importante desde la perspectiva socioeconómica por su representatividad nacional, puesto que incluye un total de 8.915 hectáreas cultivadas con caña lo que significa un 20,6% del área nacional, en las cuales se produjeron y procesaron durante la Zafra 1992-1993 (Cuadro 1) un total de 643.893 TM de caña que permitieron fabricar 63.855,5 TM de azúcar, con base en un rendimiento industrial promedio de 109,18 kg de azúcar (96° de polarización) por tonelada de caña (29,30).

La importancia social de la caña en ambas zonas es grande, como se evidencia a través de las entregas de materia prima efectuada a los ingenios, donde del total procesado en la Región 1 un 38,4% correspondió a caña proveniente de plantaciones propias de los ingenios, en tanto que, el 61,6% restante fue entregada por productores particulares. En esta región, la caña es cultivada complementariamente con el café, cultivo con el cual ha establecido un “binomio agrícola” que asocia ambas actividades en razón de la secuencia de prácticas agrícolas ambas actividades en

razón de la secuencia de prácticas agrícolas que proporcionan continuidad y sostenibilidad productiva, optimizando y maximizando la eficiencia técnico-económica de la empresa. En el caso de la Región 2 la proporción de las entregas es más desequilibrada, puesto que un 92% de las mismas correspondió a caña propia del ingenio y apenas un 8% a materia prima aportada por agricultores particulares.

Puede asegurarse sin lugar a dudas, que el cultivo de la caña ha representado históricamente una alternativa agrícola de gran prioridad para estas localidades, como lo revela la evolución sufrida, con lo cual la agroindustria azucarera se mantiene como fuente de trabajo directo e indirecto constituyendo el principal rubro de ingreso y manutención de muchas familias.

A. 3 CLIMA

Este aspecto es de vital importancia valorarlo en virtud de su determinante influencia sobre los rendimientos agroindustriales de la caña. Dicho factor muestra grandes diferencias en algunos de sus componentes, que inducen cambios importantes en el comportamiento y manejo de las plantaciones comerciales (42). El Cuadro 2 resume las principales características climáticas de algunas localidades representativas de ambas regiones.

Según la información contenida en ese Cuadro, la zona de Juan Viñas posee un nivel de precipitación muy superior respecto al resto de las localidades de la Región 1 que aparecen citadas; las diferencias son significativas no sólo en volumen total sino también en distribución, en razón de que la Región 2 presenta lluvia durante todo el año con niveles no inferiores a los 200 mm, volumen que se alcanza durante los meses de marzo, abril y mayo que corresponde al periodo más "seco" del año. En el caso de la Región 1 la precipitación disminuye sustancialmente durante los meses comprendidos entre diciembre y abril, siendo enero, febrero y marzo tradicionalmente secos. Esas diferencias son determinantes sobre la eficiencia de las labores de cosecha y posibilidades de mecanización del cultivo (25).

La presencia de humedad en forma permanente favorece el crecimiento vegetativo de la planta, aunque afecta la fase de maduración y con ello la concentración de sacarosa en los tallos, lo cual es contraproducente a los intereses de producir azúcar.

Desde esta perspectiva, pareciera que la Región 2 carece de condiciones adecuadas para la concentración óptima de sacarosa, lo cual sin embargo, se ve favorecido por el efecto que las temperaturas inducen al contrarrestar ese comportamiento y promover el acumulo de sacarosa. Como se anota en el Cuadro 2, las temperaturas mínimas son en general bastante bajas, principalmente en el periodo anterior a la zafra (noviembre – diciembre) y durante la misma en los meses de enero-abril (100 días) en la Región 1 y enero – julio (160 días) en la Región 2; la fluctuación (diaria) entre temperatura máxima y mínima, que en el presente caso es superior a 11° C en todos los casos, se constituye en un importante y determinante elemento inductor de maduración (15, 25, 42, 47).

Cuadro 1.
Índices de Producción de Caña y Azúcar de los Ingenios del Valle Central de Costa Rica
Durante la Zafra 1992/93

Ingenio	Altitud (msnm)	Caña Procesada (TM)	Azúcar Fabricada ^{1/} (TM)	Rendimiento Industrial ^{2/} kg Azúcar/T	Producción Caña (TM/ha/Año) ^{3/}
San Ramón	1.040	45.050	4.466,60	108,35	75
Providencia	700	49.717	5.587,20	122,82	85
Porvenir	600	50.724	5.356,40	115,2	80
Costa Rica	800	71.067	6.860,30	105,07	80
Argentina	760	77.074	7.303,60	103,05	110
Victoria	1.000	192.694	19.700,90	111,62	90
Juan Viñas	1.165	157.568	14.580,50	101,13	85
Total		643.893	63.855,50		86
Promedio				109,18	

Fuente: (27,28)

1/ Información dada en "Tel-Quel"

2/ Información dada en 96° Pol

3/ Valores estimados

La nubosidad representa un factor diferenciador importante debido a que las zonas más altas poseen por lo general mayor nubosidad, exhibiendo la Región 1 un periodo de mayor luminosidad que influye marcadamente sobre la eficiencia fotosintética, la duración del ciclo vegetativo y los índices de productividad agroindustrial y rentabilidad económica potenciales. Es definitivo que las diferencias observadas en los elementos climáticos, principalmente entre las Regiones 1 y 2, se traducen en significativas variaciones en los patrones de comportamiento, manejo y eficiencia del cultivo. El Cuadro 2 incluye otra información de importancia que ubica y tipifica las regiones estudiadas, en lo que referente a factores de carácter edafoclimáticas.

A.4 SUELOS

Costa Rica pese a ser una nación pequeña (52.000 Km²) posee gran variación en las características de sus suelos, fundamentada en la variabilidad que presentan los materiales parentales existentes en un relieve heterogéneo, sometido a la influencia en el tiempo de los elementos climáticos y biológicos. En el país es factible encontrar 9 de los 11 órdenes de suelo (39) que considera la taxonomía de suelos preconizada por el SOIL SURVEY STAFF (1990), siendo los órdenes Inceptisol y Ultisol los que mayoritariamente predominan como lo revela el Cuadro 3; suelos de los órdenes Oxisol y Aridisol no han sido aún identificados. Por su importancia agropecuaria, los tipos de suelo sobre los que se sustentan las actividades productivas nacionales son los pertenecientes a los órdenes Inceptisol, Ultisol, Andisol y Vertisol.

Cuadro 2.
Caracterización Agroclimática de Algunas Localidades Cultivadas con Caña de Azúcar
en el Valle Central de Costa Rica.

Variable	Unidad	EEFBM	La Argentina	Pilas Naranjo	La Luisa	Juan Viñas
Región		1	1	1	1	2
Latitud	grados norte	10°01´	10°02´	10°06´	10°08´	09°50´
Longitud	grados oeste	84°16´	84°21´	84°23´	84°20´	83°47´
Altitud Estac. Meteorológica	msnm	840	760	1.042	1.250	1.165
Precipitación Total Anual	mm	1.950	2.115	2.411	2.973	4.112
Temperatura Máxima	°C	28.4	29.8	28,5	30	26.5
Temperatura Media	°C	23	23.6	21,5	23	20.7
Temperatura Mínima	°C	17.6	17.7	14,6	17	14.9
Amplitud Máxima-Mínima	°C	10.8	12.1	13,9	13	11.6
Meses Secos	< 35 mm/mes	4	4	3	3	6
Meses con Alta Humedad	> 500 mm/mes	0	0	0	2	0
Régimen de Humedad del Suelo		USTICO	USTICO	USTICO	USTICO	USTICO
Régimen de Temperatura del Suelo		A	A	A	A	A
Brillo Solar	horas	6.6	-	-	5.2	4.1
Zona de Vida (Holdridge)		bmh-P	bmh-P	bmh-P	bmh-MB	bmh-MB
Suelo Principal		ANDISOL	ANDISOL	ANDISOL	ANDISOL	ANDISOL
Suelos Asociados		ALFISOL	INCEPTISOL	INCEPTISOL		
Relieve		Plano	ondulado/suave	ondulado/suave	quebrado	quebrado
Altitud Plantaciones de Caña	msnm	800-850	600-825	1.080-1250	1200-1550	850-1600
Índice Producción Potencial Caña	TM&ha	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO
Índice Climático de Madurez	Concentración	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO
	Sacarosa	-	-	-	-	-
Limitantes Físico-Edáfica	Sacarosa	If	f	pf	pf	pf
Uso de Riego		SI	SI	SI	SI	NO
Ciclo Vegetativo Caña	meses	12-14	11-16	12-16	12-24	12-26

EEFBM= Estación Experimental Fabio Baudrit Moreno

Zonas de Vida según Holdridge

bmh-P = Bosque muy Húmedo Premontano

bmh-MB=Bosque muy Húmedo Premontano

bajo

Régimen de temperatura del suelo

A= Isohipertérmico

Limitantes fisio-edáficos

r= fragmentos rocosos

f= fertilidad

p= pendiente

Cuadro 3.
Ordenes de Suelo de Mayor Importancia Agrícola, Presentes en Costa Rica Según
Taxonomía del USDA.

Orden	Porcentaje
Inceptisoles	39
Ultisoles	21
Andisoles	14
Entisoles	12
Alfisoles	10
Vertisoles	2
Mollisoles	1
Histosoles	1
Espodosoles	<1
Oxisoles	?
Ardisoles	?

Fuente: (39)

Nutricionalmente se considera (9, 10) que el 100% de los suelos presenta limitantes respecto a su contenido de N, un 74% es deficiente en P, el 22% evidencia escasez de K, el Ca y el Mg son bajos en el 35% de las muestras analizadas. Entre los micronutrientes esenciales, el B constituye el más limitante, seguido por el Zn (26%), el Mn (23%) y con un 6% el Fe; el Cu (2%) no es limitante puesto que no presenta deficiencias importantes. Se encontró que a nivel nacional, el 43% de las muestras analizadas tenían valores de pH inferiores a 5,5 un 20% una acidez intercambiable mayor de 0,5 Cmol (+)/l, un 29% con una suma de cationes igual o inferior a 5,0 Cmol (+)/l y un 2% con una saturación de acidez del 10% o superior.

Por su estratégica ubicación geográfica, los Andisoles sostienen la producción de la actividad cafetalera, incluyen una parte importante del área cañera nacional (20,6%), así como también hortalizas, ganadería de leche y cultivos no tradicionales como helechos, flores, fresas, espárrago, entre otros.

El material volcánico presente en los suelos de Costa Rica es variable en su composición, puesto que en la Región de Guanacaste el vulcanismo es de naturaleza Riolítica del Cuaternario-Terciario, en tanto que, el resto del país incluyendo la zona bajo estudio, presenta un vulcanismo Holocénico de composición Andesítico-Basáltico, como lo anotara (6). Ese mismo autor cita como algunas de las variables que determinan la génesis y el manejo de esos suelos:

- 1) La separación por tamaño y por peso de las partículas eyectadas, la cual es orientada por los vientos dominantes,
- 2) Las gradientes de temperatura y humedad presentes, como resultado de los en altitud.

3) Variación de la cobertura vegetal según piso altitudinal.

Por esos motivos, es factible encontrar en las áreas más bajas del relieve subgrupos Andépticos de Alfisoles, Ultisoles e Inceptisoles, en tanto que, los típicamente volcánicos como son los Dystrandeps e Hydrandeps ocupan las laderas de las montañas, y los suelos volcánicos de cenizas gruesas (Vitrandeps) los alrededores de los conos (5,6).

A.4.1 PROPIEDADES MINERALOGICAS

Estudios realizados revelan que la composición mineralógica de las cenizas volcánicas de Costa Rica muestran diferencias importante en la distribución de los minerales primarios, en particular feldspatos y vidrios aunque químicamente poseen una composición muy similar (6). Se ha encontrado además, que el K y el Na reducen sus contenidos originales con el tiempo hasta en un 75%, siendo en el caso del Mg y el Cu de un 50%; la materia orgánica y la capacidad de intercambio de cationes más bien elevan sus valores con los años (12, 36).

La formación de diferentes tipos de arcillas, son a su vez dependientes de las condiciones de meteorización prevalecientes. Se ha concluido en general, que los minerales volcánicos primarios meteorizan a geles amorfos de sílice y aluminio, los que a su vez pasan a Metahalositas, Halositas, y finalmente a Gibosita, Caolinita o Montmorrillonita, según sean las condiciones de meteorización presentes (8, 35).

Los estudios señalan que en la sección superior de una formación volcánica, dominan los minerales primarios cristalinos con alofana, en la parte media se encuentra alofan y halosita, en tanto que la parte baja de la pendiente contiene halosita con gibosita – caolinita; al pie de la pendiente se han identificado predominantemente arcillas del tipo 2:1 (11,29). Se ha determinado asimismo, que en condiciones de sequía (verano) prolongada, las arcillas amorfas tienden a cristalizarse en forma irreversible. La alofana como principal componente de las cenizas, amorfohidratable. La alofana como principal componente de las cenizas, es un material aluminosilicatado de características coloidales, amorfohidratable y muy inestable, lo que le confiere gran actividad y reactividad. Al hidratarse en busca de mayor estabilidad, se liga con la materia orgánica formando organominerales que confieren buena estructura al suelo y alta capacidad de retención de aniones en especial fosfatos.

A. 4.2 PROPIEDADES FISICAS

Al igual que acontece con otras características de las cenizas volcánicas, las propiedades físicas de los Andepts de Costa Rica son bastante variables. Se ha encontrado valores de densidad aparente utilizando el método del cilindro, que normalmente oscilan entre 0,4 y 1,1 g/cm³ siendo inferiores a 0,85 g/cm³ en las secciones más altas. La densidad de partículas es a su vez relativamente baja al variar de 2,1 a 2,4 g/cm³; la porosidad es por lo general superior al 50%. El cambio potencial de volumen del suelo llega según (4) a niveles críticos (valores entre 4,0 y 6,0).

FORSYTHE (1972) citado por (6), señala que la dispersión de Andepts secos al aire es difícil, lo cual se asume al secado irreversible que presentan algunas arcillas amorfas, que pasan a formar

agregados conocidos como "pseudoarenas", partículas identificadas y descritas en Costa Rica por (8). Se comenta (29) sobre el carácter anfotérico de las arcillas amorfas, anotándose que algunas dispersan en medio básico y otras en medio ácido.

Comparativamente con otros órdenes, los Andisoles son suelos que ofrecen mayor facilidad para el laboreo mecánico con maquinaria ligera, lo que favorece su preparación y acondicionamiento para uso agrícola, propiedad que aunada a su profundidad y buen drenaje no permiten la obtención potencial de rendimientos agroindustriales elevados en el caso de la caña.

A.4.3 FERTILIDAD

La fertilidad natural de un suelo como elemento inductor de productividad, constituye un factor de suma importancia que merece especial atención y análisis, lo cual en el caso de los Andisoles adquiere relevancia por las particularidades que presentan.

El estudio (10), resume las principales características definitorias del estado de fertilidad de los principales características definitorias del estado de fertilidad de los principales suelos de uso agrícola de Costa Rica, los cuales se presentan en el Cuadro 4 específicamente para algunas localidades cañeras representativas de la región del Valle Central. Se observa en ese Cuadro, que la mayoría de localidades incluidas presentan una condición catalogada (más del 40% de las muestras) como de fertilidad deficiente, en lo que respecta a variables como: pH, acidez valorada a través de la concentración de Al intercambiable, saturación de acidez, contenidos de P y en algunas localidades de Ca y Mg, lo que se traduce en fuertes desequilibrios catiónicos; contrariamente, se verifican altas concentraciones de K y Fe en casos muy específicos. Con base en la información recavada, la fertilidad de los suelos cañeros del Valle Central puede catalogarse como de nivel medio con tendencia a baja, por la presencia con intensidad variables de las limitantes apuntadas anteriormente.

Al desagregar la zona en las áreas de estudio inicialmente enmarcadas, puede concluirse que la Región 1 posee una fertilidad natural ligeramente superior a la que presenta la Región 2, pese a lo cual en ambos casos la fertilidad es moderada. Como apoyo y verificación de lo señalado, el Cuadro 5 presenta información específica de contenidos químicos, pertenecientes a suelos cultivados con caña de azúcar en varias localidades del Valle Central. El documento (10) resume metodologías empleadas en el análisis químico y la guía de interpretación correspondiente, para valorar el estado de fertilidad de un suelo.

Al evaluar la respuesta de plantas de tomata al efecto individual de nutrimentos utilizando 15 muestras de suelo del Valle Central, se encontró (40) que la limitación decreció de P>N>Ca>Elementos Menores>S>K>Mg y en subsuelos de P>N>F Elementos Menores>Ca>Mg>S>K, respectivamente. Resultados similares determinó (9), indicando que el P es mucho más limitante que todos los otros elementos, no hallando respuesta a la adición de S y B.

Algunos investigadores indican, que el contenido de Al intercambiable en KCL no desempeña un papel relevante en este tipo de suelos (9), debido a que la saturación de Al en la micela es muy baja, lo que repercute consecuentemente en una baja extracción del elemento por la planta (38).

Cuadro 4.
Fertilidad de los Suelos de Algunas Localidades Cañeras de Costa Rica
Interpretado Según Participación Porcentual por Categoría.

Variable		Juan Viñas n= 43	Grecia n= 423	Naranjo n= 306	Poás n= 176	Atenas n= 499	San Ramón n= 148
pH	A	53	84	80	67	78	80
	B	47	16	20	33	22	20
	C	0	0	0	0	0	0
Acidez	A	58	49	58	81	67	74
	B	23	42	25	18	18	13
	C	19	9	17	1	15	13
Saturación Acidez	A	72	40	58	74	75	68
	B	21	54	34	26	23	27
	C	7	6	8	0	2	5
CICE	A	2	60	30	34	10	24
	B	75	40	69	66	74	75
	C	23	0	1	0	16	1
Suma Cationes	A	14	69	47	42	14	37
	B	63	31	52	58	70	62
	C	23	0	1	0	16	1
Ca	A	23	77	54	54	20	44
	B	56	23	46	46	70	55
	C	21	0	0	0	10	1
Mg	A	12	76	64	61	14	39
	B	65	23	34	39	57	58
	C	23	1	2	0	29	3
K	A	30	14	6	18	14	28
	B	68	66	42	68	42	32
	C	2	20	52	14	44	40
P	A	95	78	72	71	68	74
	B	5	16	18	20	20	16
	C	0	6	10	9	12	10
Zn	A	35	26	11	12	37	9
	B	65	70	82	84	59	86
	C	0	4	7	4	4	5
Cu	A	12	0	0	0	2	0
	B	70	73	41	90	89	61
	C	18	21	59	10	9	39
Fe	A	19	1	0	0	4	1
	B	14	62	55	86	57	53
	C	67	37	45	14	39	46
Mn	A	7	8	6	16	4	1
	B	91	83	76	82	74	44
	C	2	9	18	2	22	55
Ca/K	A	0	35	39	10	8	20
	B	58	61	56	83	61	60
	C	42	4	5	7	31	20
Ca/Mg	A	11	7	4	3	18	7
	B	84	77	63	61	78	84
	C	5	16	33	36	4	9
Mg/K	A	5	74	79	53	19	41
	B	70	25	20	47	66	53
	C	25	1	1	0	15	6
Ca + Mg/k	A	5	58	67	25	17	34
	B	56	40	30	73	58	51
	C	39	2	3	2	25	15

Fuente: (10)

Categorías:

A= Fertilidad Baja
B= Fertilidad Media

C= Fertilidad Alta
n= Número de muestras analizadas

Cuadro 5.
Caracterización Físico-Química de Algunos Suelos Cultivados con Caña
de Azúcar en la Región del Valle Central de Costa Rica.

Variable	Unidad	Juan Viñas		La Luisa		Victoria	Grecia	Atenas	San Ramón
		A	B	A	B	A	A	A	A
pH		5,1	4,9	5,2	5,2	5,3	5,1	4,6	4,9
Ca	Cmol (+)/l	2,4	1,4	3,2	3	2,8	2	2,2	3
Mg	Cmol (+)/l	0,5	0,34	0,76	0,7	0,52	0,4	0,95	1,1
K	Cmol (+)/l	0,11	0,07	0,58	0,47	0,17	0,29	0,35	0,54
Al	Cmol (+)/l	0,6	0,46	0,55	0,52	0,45	1,3	0,4	0,76
P	ug/ml	8,6	2,1	8,3	7	1,8	12	7,5	6,8
Zn	ug/ml	2,1	0,9	2,3	2,1	1	1,4	2	5,6
Cu	ug/ml	6,7	5	6,3	5,3	7,8	13	19,5	17,7
Mn	ug/ml	5,7	5	7,7	6,3	6,8	10	24	43,9
Suma de bases	Cmol (+)/l	3,01	1,81	4,54	4,17	3,96	2,69	3,5	4,64
Saturación Al	Cmol (+)/l	16,62	20,26	10,81	11,09	11,42	32,58	10,26	14,07
CICE	Cmol (+)/l	3,61	2,26	5,09	4,69	4,71	3,99	3,9	5,4
Ca/K		21	20	6	6	8	7	6	6
Ca/Mg		5	4	4	4	3	5	2	3
Mg/K		6	5	1	2	2	1	3	2
Ca+Mg+K/K 100		27,4	25,9	7,8	8,9	12	8,3	10	8,6
K/Ca+Mg+K		4	4	13	11	9	11	10	12
Textura	%	Franco	Franco Arcilloso	Franco	Franco	Franco Arcilloso	Franco Arcilloso	Franco Arcilloso	Arcilloso
Materia Orgánica	%	16,3	13,5	14,7	12,5	8,5	8,7	5,1	7,3

Profundidad: A= 0 - 20 cm
 B= 20 - 40 cm

Uno de los nutrimentos esenciales que más limitado se encuentra en los Andisoles lo constituye el P, el cual es retenido en altos porcentajes como lo corrobora el 86,4% que se obtuviera con Andepts de Costa Rica (32); otro estudio (38) determinó una retención del 82,4% del P adicionado en las formas de Al-P (82,5%), Fe-P (14,4%), Ca-P (1,6%) y un 2,9% como P soluble en NH₄CL. La retención de P según (7) es un promedio de un 50% en Andisoles de textura gruesa y puede llegar al 99% en aquellos más meteorizados.

La alta fijación de aniones en especial fosfatos, constituye una de las limitantes más importantes que presentan los Andisoles, lo cual es atribuido al efecto de "carga variable" que poseen y que hace que se carga superficial varíe en magnitud y signo con los cambios en el pH, fuerza iónica y composición de la solución del suelo (41). Dicha carga variable procede básicamente de la existencia en la fracción arcilla de minerales que poseen superficies anfóteras, entre las que destacan los óxidos de Fe y Al. La materia orgánica presente en altos contenidos, posee también gran cantidad de carga variable negativa, lo que también ocurre con las células de muchos microorganismos.

Al estudiar la fijación de P en Andepts de Costa Rica, se determinó (7) que el P retenido variaba con la altitud y el régimen de humedad, siendo menor la retención con el aumento en elevación debido a la existencia de texturas más gruesas y grados de meteorización menores por la baja temperatura del suelo. Esos investigadores encontraron a su vez, que la mayor retención de fosfatos se ubica en las zonas medias del área influenciada, donde hay presencia de cantidades considerables de arcilla amorfa acompañada de materia orgánica.

La literatura indica, que en general los Andisoles, poseen elevados contenidos de fósforo total aunque el nutrimento es siempre deficiente para los cultivos, debido a la elevada estabilidad de las uniones químicas formadas entre el anión fosfato y las superficies anfóteras de los coloides del suelo. La recuperación del P proveniente del fertilizante por parte de los cultivos es sumamente baja en Andepts, como lo asegura (6). Al evaluar diferentes fuentes de fertilizante, se encontró (47) respuestas diferenciadas notables; determinando (46) que las partículas de fertilizante más grandes dieron mayor efecto residual, lo que ha generado actualmente polémica, sumada a la existente sobre la aplicación del P en banda o al voleo.

La práctica comercial ha verificado, que la aplicación de fertilizantes fosfatados en dosis elevadas no logra resolver satisfactoriamente su deficiencia, razón por la cual, la valoración profunda de los diversos factores del medio que influyen sobre la retención es realizada para alcanzar una mayor eficiencia en el uso de los fertilizantes al suelo; por ello, el empleo de correctores de acidez constituye una práctica agrícola de gran valor, como se comentará más adelante. La experiencia agrícola ha establecido respuestas muy positivas de la caña de azúcar, a la adición de otros nutrimentos “no tradicionales” como Mg, S y elementos menores, principalmente B y Zn, en suelos de esta región.

En lo que respecta a la profundidad de los suelos del Valle Central, autores como (5, 6, 34, 43) indican que la evaluación de los Andepts puede verse modificada por la deposición reciente de lavas, altitud elevada o baja temperatura, así como la presencia de capas de aluvión compactadas por debajo de la ceniza. Agregan que por lo general, la meteorización en suelos de regiones altas es lenta por la baja temperatura, catalogándolos como poco profundos. Se considera al respecto, que los suelos de las secciones medias y bajas del relieve volcánico son profundos.

Es fácil observar diferencias en la coloración del suelo, debido a la variación que existe en el régimen de humedad y los contenidos de materia orgánica presente. En las zonas más altas, los suelos son de color oscuro y en los más bajos de color pardo-rojizo. Es común encontrar en la región suelos viejos cubiertos (perfil oculto) por capas de ceniza recientes con menos de 50 cm de espesor (5, 6).

A. 5 VARIEDADES CULTIVADAS

Los clones cultivados comercialmente varían principalmente por altitud, manteniendo las áreas de mayor elevación (>1.000 msnm) materiales genéticos de origen Hawaiano entre los que se tiene en orden de importancia los siguientes: H 60-8521, H 57-5174, H 68-1158, H 61-1721, H 62-4671, H 70-0144, H 44-3098, H 32-8560 y en menor grado H 56-4848; hay además presencia de clones de otros orígenes, como son Q 96 (variedad más cultivada en el país), B 70-355, SP 71-3149, BJ 70-03 y Mex 57-473 entre otros. En las áreas inferiores a 1.000 msnm se cultivan en orden de importancia los siguientes clones: Q 96, SP 70-1143, SP 71-5574, SP 72—4790, Mex 57-473, CR 61-01, B 70-355, LAICA 82-135 y SP 71-1406, como lo refieren (25, 27, 28).

En razón de la altitud y naturaleza genética, los clones Hawaianos poseen por lo general ciclos vegetativos más prolongados que llegan hasta los 26 meses de edad para ser cosechados como sucede en la Región 2, en tanto que, los clones de otros orígenes presentan un periodo vegetativo más corto por lo general inferior a 16 meses, como sucede en la Región 1, lo cual es condicionado en todos los casos a si se trata de ciclo planta o retoño. Actualmente se procura en el país, trabajar comercialmente con variedades de maduración temprana e intermedia, que permitan su pronta cosecha y retorno de la inversión efectuada.

En materia de mejoramiento genético, se procura como estrategia de investigación, identificar y adaptar clones promisorios que superen desde la perspectiva técnico-económica a los empleados actualmente, como lo demuestran los trabajos realizados por (13, 25, 27, 28, 30, 31, 44).

A. 6 ENCALADO Y FERTILIZACION DE PLANTACIONES COMERCIALES

En materia de nutrición y fertilidad de suelos cañeros, son numerosos los estudios (3, 9, 10, 26, 37, 43, 48, 49) que se han realizado en Costa Rica, procurando caracterizar sus propiedades básicas y valorar su potencial productivo. Como se indicó, los Andisoles del Valle Central son suelos por lo general de fertilidad moderada que requieren necesariamente de la adición de fertilizantes, para generar y sostener niveles de productividad de caña y azúcar elevados. En este sentido hay que destacar, que la fertilización de las plantaciones comerciales se ha ajustado y calibrado con base en los resultados que la investigación ha generado.

Para optimizar el potencial productivo que la fertilización puede inducir, es necesario en primera instancia, acondicionar el suelo para que los nutrientes adicionados cumplan su función de manera exitosa. En este sentido y con fundamento en el grado de acidez y pH que ese orden de suelos presenta, la incorporación de correctivos de acidez constituye una práctica casi obligada. La aplicación de CaCO_3 principalmente al momento de preparar el terreno para la siembra, ha brindado resultados muy satisfactorios en razón de que ha promovido incrementos importantes de producción; a su vez, la adición de cal sobre el surco de siembra en ciclo de retoño ha también elevado las producciones y recuperado plantaciones en franco proceso de decadencia.

El Cuadro 6 presenta los resultados de una prueba (19) donde se incorporó CaCO_3 en cuatro dosis a 1.150 msnm, notándose que los tratamientos donde se encaló elevaron significativamente los rendimientos agroindustriales siendo la dosis de 1 TM la más idónea luego de su optimización técnico-económica.

Los Andents poseen como se indicó, una elevadísima capacidad de retención de fosfatos que ocasiona su déficit aún cuando se aplique en dosis elevadas, razón por la cual, el encalado constituye una práctica de acondicionamiento del suelo y aumento de la disponibilidad del fósforo asimilable para la planta. Con tal objeto, se realizó un experimento (1) a 1.175 msnm donde se evaluó la interacción de tres dosis crecientes de CaCO_3 y P_2O_5 , resultando que el empleo de 2 TM de CaCO_3 y 200 Kg de P_2O_5 /ha, era en promedio el tratamiento más eficiente desde la perspectiva técnico-económica, puesto que superó en producción de caña y azúcar (TM/ha) a todos aquellos tratamientos sin cal o carentes de fósforo, como lo señala el Cuadro 7.

Cuadro 6.
Efecto de la Incorporación de Dosis de Carbonato de Calcio, Sobre los Rendimientos Agroindustriales de Caña y Azúcar en Hacienda Juan Viñas, Costa Rica. Ciclo Planta.

Dosis CaCO ₃ TM/ha	%		Rendimiento Industrial kg Azuc/t	Producción T/ha	
	Calcio (8-10)	Pureza		Caña	Azúcar
1	0,27	92,00	111,59	128,41	14,48
2	0,19	93,51	117,79	115,77	13,54
3	0,22	92,74	112,04	140,06	15,77
Promedio	0,21	92,80	114,59	121,3	13,92
CV (%)	13,10	1,02	3,82	10,96	9,12

Fertilización base: 160 kg de N y K₂O y 150 kg P₂O₅/ha, respectivamente
 Variedad cultivada: H 57-5174 cosechada a los 21 y 13 meses de edad

Cuadro 7.
Rendimientos Agroindustriales de Caña y Azúcar Correspondientes al Estudio de Interacción de Dosis de Carbonato de Calcio y Fósforo, Realizada en Volio de San Ramón Costa Rica. Promedio de Dos Cosechas.

Tratamientos		Rendimiento Industrial			Caña			Azúcar		
CaCO ₃ (T/ha)	P ₂ O ₅ (Kg/ha)	kg Azúcar/TM			Primero	Segundo	Promedio	Primero	Segundo	Promedio
		Primero	Segundo	Promedio						
0	0	118,32	107,61	112,96	65,6	68,0	66,8	7,82	7,33	7,57
0	100	111,64	108,10	109,87	74,1	68,1	71,1	8,28	7,32	7,80
0	200	112,73	108,84	110,78	81,5	81,9	81,7	9,14	8,92	9,03
1	0	112,94	110,02	111,48	75,3	56,3	65,8	8,55	6,15	7,35
1	100	114,67	108,70	111,69	78,5	65,6	72,0	9,01	7,13	8,07
1	200	116,87	107,86	112,37	108,9	90,4	99,6	12,69	9,73	11,21
2	0	115,56	96,72	106,19	91,1	65,5	78,3	10,49	6,30	8,40
2	100	115,31	110,96	113,14	111,5	93,7	102,6	12,85	10,31	11,58
2	200	115,28	114,02	114,65	113,3	98,9	106,1	13,06	11,26	12,16
Promedio		114,82	108,90	111,46	88,9	76,5	82,7	10,21	8,27	9,24

Fuente: (1)

Fertilización base: 150 kg N y K₂O/ha, respectivamente

Variedad cultivada: H 57-5174 cosechadas a los 21 y 12 meses de edad

Tratamientos seguidos por la misma letra no difieren estadísticamente entre sí, según Tuckey 5%

En otro estudio efectuado en La Luisa a 1.300 msnm (16), donde se evaluaron proporciones porcentuales Ca-S (100 – 0, 75 - 25, 50 – 50) y 0 – 100, respectivamente) en dos dosis (1 y 2 TM/ha)), que simulaban la adición de Yeso Agrícola como enmienda al suelo, se determinó que el empleo del CaCO₃ sin mezcla (100%) a 1 TM/ha proporcionaba los mejores resultados en producción Ca 75% - S 25% era la mejor en tonelaje de caña. Fue evidente el efecto favorable de los tratamientos sobre la concentración de sacarosa en los tallos.

Algunos investigadores (16, 19, 24, 26) estiman, que la importancia y beneficio del encalado no se restringe apenas al efecto corrector que sobre la acidez ejerce en el suelo, sino además, a la incorporación de calcio que promueve, elemento que como se indicó es deficiente en la mayoría de los Andisoles. En Costa Rica a la gran parte de las plantaciones cultivadas en suelos volcánicos se les aplica (incorporado) la cal como práctica habitual de manejo nutricional, lo que se efectúa principalmente durante la preparación del terreno para la siembra, con CaCO₃ a una dosis promedio de 1 TM/ha, aplicado antes (15-22 días) de la siembra (25). En ciclo de soca, el encalado se aplica en plantaciones de segundo retoño con el objeto de solubilizar fosfatos y acondicionar el suelo, lo cual se realiza con base en la información proporcionada por el análisis de suelo.

Uno de los nutrimentos que mayor incremento productivo induce en una plantación de caña es el N, el cual ha demostrado comercialmente requerimientos mayores conforme el ciclo vegetativo aumenta; asimismo, clones de origen Hawaiano presentan respuestas elevadas a su adición, lo cual sin embargo, debe realizarse con criterio técnico para evitar efectos detrimentales sobre la calidad de los jugos, los cuales pueden verse severamente afectados (22, 35), lo que repercute en la rentabilidad económica percibida por el productor en razón de que la caña se paga en Costa Rica con base en su calidad, representada por la concentración de sacarosa en los tallos.

El Cuadro 8 muestra el resultado de tres cosechas, correspondiente a una prueba (22, 30) realizada en Juan Viñas a 1.050 msnm, donde se evidencia que en promedio la dosis de 200 kg de N/ha fue la más idónea desde la perspectiva técnico-económica, al generar la mayor tasa de retorno marginal por unidad invertida. En altitudes superiores a 1.000 msnm la respuesta a la adición de N ha sido predominantemente similar, lo que resalta la importancia de este nutrimento del cual hay mucho que comentar aunque sus efectos benéficos y también negativos, son plenamente conocidos en la práctica comercial.

Como se comentó suficientemente, los Andisoles son suelos que poseen una elevadísima capacidad de retención de fosfatos, lo que motivó un estudio (15) con el objeto de evaluar la respuesta de la caña en una zona alta de La Luisa (1.250 msnm), a la adición de P sin que previamente se corrigiera la acidez. Los resultados indican, Cuadro 9, que las producciones de todos los tratamientos fueron mayores en toneladas de caña y azúcar/ha, respecto al Testigo sin P; se observó también, una significativa reducción de la capacidad productiva entre el primer y segundo corte que se manifestó ampliamente en los tratamientos con adiciones menores de fósforo. Estos resultados sugieren la necesidad de encalar durante la siembra y reescalar en ciclo de retoño, con el objeto de disponer más fósforo a la planta.

Cuadro 8.
Producción de Caña y Azúcar (t/ha) según Corte Correspondiente a la Prueba de Dosis de Nitrógeno Realizada en Hacienda Juan Viñas, Costa Rica. Promedio de Tres Cosechas.

Tratamiento N Kg/ha/Año	Primero		Segundo		Tercero		Promedio	
	C	A	C	A	C	A	C	A
0	212,5	27,0	162,9	18,5	98,0	12,6	157,8	19,3
100	194,5	23,9	172,3	19,6	128,1	14,7	165,0	19,4
200	212,0	25,9	201,6	22,2	125,8	16,0	179,7	21,4
300	222,6	27,1	170,5	20,0	120,6	14,1	171,2	20,5
400	216,4	26,4	171,8	19,4	154,3	18,9	180,8	21,6
500	207,8	24,4	185,2	20,9	129,8	15,7	174,3	20,3
Promedio	211,0	25,8	177,4	20,1	126,1	15,3	171,5	20,4

Fuente: (22,30)

Edad de cosecha: 22,24 y 22 meses, respectivamente

Fertilización base: 200 kg de P₂O₅ y K₂O/ha

Variedad Cultivada: H 44-3098

Caña (C) y azúcar (A)

Cuadro 9.
Rendimiento Agroindustriales de Caña y Azúcar Correspondientes a la Prueba de Dosis de Fósforo Realizada en Hacienda La Luisa, Costa Rica. Promedio de Dos Cosechas.

Dosis P ₂ O ₅ Kg/ha	Rendimiento Industrial kg Azúc/T			Producción Caña (TM/ha)			Producción Azúcar (TM/ha)		
	Primero	Segundo	Promedio	Primero	Segundo	Promedio	Primero	Segundo	Promedio
Testigo Absoluto	112,75	137,34	125,05 a	134,4	101,9	118,2 bc	15,2	14,1	14,6 ab
0	112,33	127,95	120,14 a	133,3	64,7	99,0 c	14,9	8,1	11,5 ab
100	104,18	130,92	117,55 a	174,4	76,3	125,4 ab	18,1	10,2	14,1 ab
200	112,98	119,48	116,23 a	177,8	111,7	144,7 a	20,0	13,2	16,6 a
300	104,14	132,02	118,08 a	160,0	82,8	121,4 abc	16,6	10,9	13,8 ab
400	113,55	135,38	124,47 a	158,3	102,2	130,3 ab	14,1	16,0	16,0 a
500	104,04	131,51	117,77 a	165,5	75,5	120,5 abc	17,1	10,1	13,6 ab
Promedio	109,14	130,66	119,90	157,7	87,9	122,8	17,1	11,5	14,3
CV (%)	5,79	4,44	6,93	14,0	19,8	12,07	12,5	20,2	16

Fertilización base: 140 kg N y 150 kg K₂O/ha

Variedad Cultivada: H 44-3098 cosechada a 21 y 13 meses de edad

Tratamientos seguidos por la misma letra no difieren estadísticamente entre sí, según Duncan 5%

En consideración a su naturaleza semiperenne y lo prolongado de su ciclo vegetativo, muchas veces se ha considerado factible y técnicamente valioso para la aplicación de P, el empleo de rocas fosfóricas de lenta solubilidad, mayor residualidad y disponibilidad en el tiempo, en los programas de fertilización comercial de las plantaciones de caña. Por esa razón, se estableció en un Andic Humitropept de Juan Viñas a 1.180 msnm, un experimento (14) donde se valoró rocas fosfóricas de Carolina del Norte, Centro Florida y Centro Florida Acidulada (40% H_2SO_4) sin enclavamiento previo, respecto al superfosfato triple como fuente de mayor solubilidad, aplicando en todos los casos 4 dosis: 0, 100, 200 y 400 kg de P_2O_5 /ha. Los resultados indican que la roca de Central Florida fue luego de dos cosechas, la más eficiente en producción (TM/ha) de azúcar y los 100 kg de P_2O_5 /ha la mejor dosis; estos resultados posibilitan el empleo complementario de fuentes de lenta liberación, como una alternativa para plantaciones de caña de ciclo vegetativo prolongado.

El potasio representa por su parte un nutrimento esencial de particularidades especiales en el caso de la caña de azúcar, sobre el que se han establecido en Costa Rica varias posiciones debido a que su contenido en la mayoría de los suelos volcánicos es adecuado y considerado suficiente para mantener productividad elevadas. Sin embargo, la experiencia comercial ha demostrado que su adición es necesaria aún cuando las pruebas experimentales no evidencian resultados positivos con significancia estadística a su aplicación, pese a lo cual, hay diferencias físicas en producción de caña y azúcar importantes y económicamente convincentes.

Esta situación ha obligado la evaluación del nutrimento en el campo, tal como lo presentan los Cuadros 10 y 11 para la Región de Grecia (999 msnm) y Juan Viñas (1.050 msnm), respectivamente. En el primer caso (2) no se encontró significancia estadística, pese a lo cual la dosis de 60 kg de K_2O /Ha mostró factibilidad económica de ser utilizada comercialmente. En el caso del experimento realizado en Juan Viñas (20, 30), la dosis de 200 kg de K_2O /ha resultó ser la mejor y por tanto recomendable para esa localidad.

Está por tanto demostrado comercialmente, que el K es un nutrimento que debe siempre adicionarse aunque sea en dosis bajas de mantenimiento, puesto que podrían afectarse las plantaciones caso se elimine su aplicación. Las variedades de origen Hawaiano han mostrado especial avidez por este elemento, en especial la H 50-7209, variedad que por su alta sensibilidad puede actuar como indicadora de la diferencia de K.

La caña de azúcar es una planta que pese a su gran rusticidad y adaptabilidad a condiciones limitantes del entorno, requiere de un estado de nutrición adecuado que le permita manifestar a plenitud sus capacidades productivas potenciales y principalmente, sostener en el tiempo altos niveles de rendimiento agroindustrial. Para el logro de este principio, la fertilización debe ser adecuada en calidad y cantidad de manera que proporcione equilibrio nutricional, para lo que es necesario la adición oportuna, suficiente y racional de los elementos esenciales.

Cuadro 10.
Producción de Caña, Azúcar y Concentración de K (Internado 8-10) en Ciclo
Planta Correspondiente al Estudio de Dosis Crecientes de Potasio Realizado
en Grecia, Alajuela, Costa Rica.

Dosis K ² O kg/ha	Pureza %	Rendimiento Industrial kg Azuc/ha	Producción		% K (8-10)
			T/ha		
			Caña	Azúcar	
0	89,7 a	99,91 a	255,2 a	25,33 a	2,06 a
60	90,4 a	107,56 a	266,3 a	28,65 a	2,07 a
120	86,8 a	109,96 a	237,0 a	26,00 a	2,39 a
180	89,0 a	117,26 a	243,3 a	28,36 a	2,98 a
240	89,4 a	112,44 a	252,9 a	28,72 a	2,44 a
300	87,1 a	111,03 a	261,7 a	29,00 a	2,52 a
360	88,0 a	106,64 a	264,8 a	28,30 a	2,58 a
420	88,3 a	115,68 a	263,3 a	30,47 a	2,42 a
Promedio	88,6	110,06	255,6	28,10	2,43
CV (%)	2,19	10,37	11,97	14,41	17,1

Fertilización base: 180 y 150 kg de N y P₂O₅/ha, respectivamente

Encalado: Se aplicó 1 TM de CaCO₃/ha

Variedad Cultivada: B 59-233 cosechada a la edad de 21 meses

Tratamientos con igual letra no difieren estadísticamente, según Duncan 5%

Cuadro 11.
Producción de Caña y Azúcar (t/ha) según Corte Correspondiente a la Prueba
De Dosis de Potasio en Juan Viñas, Costa Rica. Promedio de Tres Cosechas.

Tratamiento K ₂ O Kg/ha/Año	Primero		Segundo		Tercero		Promedio	
	C	A	C	A	C	A	C	A
0	220,3	27,6	206,2	23,0	163,7	20,2	196,7	23,6
100	214,8	25,6	222,7	23,7	184,4	23,8	207,3	24,4
200	231,3	28,7	227,3	27,6	228,9	30,2	229,2	28,8
300	209,0	25,7	198,4	22,9	212,8	28,2	206,7	25,6
400	195,3	24,0	232,4	24,6	163,3	20,9	197,0	23,2
500	237,5	29,2	201,6	21,1	184,8	23,5	207,9	24,6
Promedio	218,0	26,8	214,8	23,8	189,6	24,5	207,5	25,0

Fuente: (20,30)

Edad de cosecha: 22, 24 y 22 meses, respectivamente

Fertilización base: 200 kg de N y P₂O₅/ha

Variedad cultivada: H 44-3098

Caña (C) y azúcar (A)

La valoración en interacción de dosis N-K en Juan Viñas a 1.050 msnm (23, 30), demuestra luego de tres cosechas (Cuadro 12), por una parte la esenciabilidad del N y por otra el excelente complemento nutricional que significa el K, puesto que cuando éste se elimina los rendimientos se reducen sustancialmente. La mejor interacción técnico-económica resultó ser 200 kg de N, 100 Kg de K₂O y una base de 200 kg de P₂O₅/ha.

La insuficiencia de elementos esenciales para la nutrición de la planta como es el caso del Mg y el S, ha motivado su estudio como complemento al resto de macronutrientes. Al valorar (17) en Juan Viñas (1.180 msnm) esos elementos, se determinó respuesta físico-económica positiva a la adición de 30 kg de MgO y 37 kg de SO₄/ha, respectivamente. Estudios similares realizados en la localidad de Grecia, han evidenciado que la aplicación de 40 kg de SO₄/ha es suficiente para satisfacer las necesidades de la caña. Es importante anotar en este punto, que el hecho de existir contenidos adecuados de K y bajos de Ca, Mg y S en el suelo, con el atenuante de que el Ca se incorpora a través del encalado, conducen a generar graves desequilibrios iónicos principalmente catiónicos, que inducen efectos detrimentales sobre la productividad agroindustrial de la caña de azúcar, tal como lo refiere (24).

Considerando las reconocidas limitantes que poseen algunos elementos nutritivos como el B y el Zn en los Andisoles (6, 9, 10, 40), y de acuerdo a la respuesta positiva que la caña ha demostrado en otras latitudes a su adición, se procedió a su evaluación (18) en un suelo volcánico de Juan Viñas (1.180 msnm), cuyos principales resultados se muestran en el Cuadro 13. La dosis individual de 25 kg de Zn y el tratamiento en interacción de 20 kg de B y 25 kg de Zn, proporcionaron los mejores resultados al producir más azúcar con menos materia prima. En la región de La Luisa se han obtenido resultados comerciales muy satisfactorios en la adición de Zn.

La realidad comercial actual indica, que las plantaciones de caña de azúcar establecidas en Andisoles de ladera, mantienen un manejo nutricional muy particular, en razón de que la práctica ha demostrado y ratificado suficientemente su importancia como elemento promotor de productividad y rentabilidad económica que provee y permite además, el alcance de rendimientos sostenibles en el tiempo.

Cuadro 12.
Producción de Caña y Azúcar (t/ha) según Corte Correspondiente a la Prueba
de Dosis de Nitrógeno y Potasio en Hacienda Juan Viñas Costa Rica.
Promedio de Tres Cosechas.

Tratamiento N - K ₂ O kg/ha/Año	Primero		Segundo		Tercero		Promedio	
	C	A	C	A	C	A	C	A
Testigo Absoluto	207,8	25,3	176,2	20,2	147,7	19,6	177,2	21,7
0 - 0	185,6	22,5	160,4	18,0	164,1	21,6	170,0	20,7
0 - 100	203,5	23,7	164,6	19,5	147,7	18,5	171,9	20,6
0 - 200	187,5	21,6	158,2	17,4	180,7	22,8	175,5	20,6
0 - 300	203,5	23,8	182,4	21,1	141,6	18,3	175,9	21,1
100 - 0	207,8	25,2	175,5	19,9	146,8	19,2	176,7	21,4
100 - 100	212,5	26,0	184,8	22,1	161,7	20,1	186,3	22,8
100 - 200	241,0	29,5	188,3	20,8	149,6	18,7	193,0	23,0
100 - 300	216,4	26,1	206,2	21,4	175,2	20,9	199,3	22,8
200 - 0	182,8	21,3	128,5	14,5	134,4	17,1	148,6	17,7
200 - 100	232,0	28,1	215,2	25,7	148,8	19,8	198,7	24,5
200 - 200	215,2	25,2	203,1	24,9	152,7	19,3	190,4	23,1
200 - 300	202,3	23,7	182,4	21,0	180,9	22,4	188,6	22,4
300 - 0	179,3	29,0	178,5	19,3	160,2	19,8	172,7	22,7
300 - 100	251,9	31,2	184,8	21,5	193,7	24,7	210,2	25,8
300 - 200	251,9	31,2	198,1	22,9	173,7	21,4	207,9	25,2
300 - 300	207,0	24,5	177,3	20,0	177,7	22,2	187,4	22,2
300 - 154 ^{1/}	243,7	29,8	181,2	20,6	163,3	21,4	196,1	23,9
Promedio	212,9	26,0	180,3	20,6	161,1	20,4	184,8	22,3

Fuente: (23, 30)

Edad de cosecha: 22,24 y 22 meses respectivamente

Fertilización base: 200 kg de P₂O₅, excepto 1/ que fue de 77 kg/ha

Variedad Cultivada: H 44-3098

Caña (C) y azúcar (A)

El Cuadro 14 presenta un detalle de cobertura nacional, elaborado con base en los resultados e interpretaciones técnico-económicas más recientes, de los ámbitos de respuesta experimental de la caña de azúcar a la aplicación de macronutrientes, según región agrícola.

Esas respuestas deben ser a su vez interpretadas según orden de suelo presente, variedad cultivada, ciclo vegetativo y manejo aplicado en cada situación y localidad específica. Puede

asegurarse por tanto, que en esa amplitud de respuesta se encuentran las dosis de fertilizante más idóneas que favorecen alta productividad de caña y azúcar a un menor costo (21).

Cuadro 13.
Rendimiento Agroindustriales de Caña y Azúcar, en Ciclo Planta Correspondientes al Estudio de Dosis de Zinc y Boro Realizado en Hacienda Juan Viñas, Costa Rica.

Tratamiento	Nº Tallos/ 1,5 M	Pureza (%)	Rendimiento Industrial kg Azuc/T	Producción (t/ha)	
				Caña	Azúcar
Testigo Absoluto	19,2 ab	95,4 a	124,74 a	104,7 b	13,0 b
Testigo Finca	20,9 ab	94,2 a	119,75 a	132,8 ab	15,9 ab
Fertilizante Base	21,5 ab	94,3 a	122,02 a	138,0 ab	16,8 ab
10 kg B	20,1 ab	94,6 a	120,20 a	136,0 ab	16,3 ab
20 kg B	19,2 ab	94,6 a	124,63 a	129,7 ab	16,1 ab
25 kg Zn	23,6 a	94,7 a	126,33 a	155,7 ab	19,6 a
50 kg Zn	21,8 ab	94,2 a	123,27 a	120,3 ab	14,8 ab
10 (B) + 25 (Zn)	20,6 ab	94,9 a	123,61 a	132,8 ab	16,4 ab
10 (B) + 50 (Zn)	20,3 ab	94,4 a	123,72 a	132,3 ab	16,4 ab
20 (B) + 25 (Zn)	24,0 a	94,5 a	126,55 a	133,3 ab	16,9 ab
20 (B) + 50 (Zn)	18,2 b	94,8 a	123,72 a	137,5 ab	17,0 ab
Promedio	21,1	94,6	123,50	132,1	16,4
CV (%)	14,2	0,92	3,61	18,65	18

Fertilización base: 200 kg de N, P₂O₅ y K₂O/ha, respectivamente

Testigo Finca: 300, 77 y 154 kg de N, P₂O₅ y K₂O/ha, respectivamente

Variedad Cultivada: PINDAR Cosecha a los 18 meses de edad

Encalado: Se aplicó 2 TM de CaCO₃/ha

Tratamiento seguidos por la misma letra no difieren estadísticamente entre sí según Duncan 5%

Fuente Nutricional: Razorita (65% B₂O₃) y Micromate (35% Zn)

Al efectuar complementariamente una valoración a los programas de fertilización comercial, que algunos productores representativos del área en estudio emplean en sus plantaciones, se tiene que las dosis aplicadas por hectárea se encuentran en el caso de la caña planta, en el siguiente ámbito: N 90-240 kg, P₂O₅ kg, K₂O 90-205 kg, CaCO₃ 750-2000 kg, MgO 30-40 kg y S como SO₄, de 45 a 100 kg, respectivamente.

En plantaciones en estado de retoño es como sigue: N 55-280 kg, P₂O₅ 25-60 kg, K₂O 65-255 kg, CaCO₃ 500-1500 kg (sólo en segunda soca), MgO 30-40 kg y SO₄, 80-125 kg aplicados anualmente.

Cuadro 14.
Ámbito de Respuesta de la Caña de Azúcar (kg/ha) a los Principales
Macronutrientes, según Región de Cultivo en Costa Rica.

Región	Planta			Soca 3/			4/	
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	MgO	SO ₄
Valle Central Occidental	120 - 180	130 - 160	120 - 160	150 - 200	130 - 160	150 - 200	40	60
Valle Central Oriental	120 - 180	130 - 160	120 - 160	150 - 200	130 - 160	150 - 200	40	60
Pacífico Seco 2/	80 - 150	60 - 100	80 - 100	100 - 150	50 - 100	80 - 140	0	80
Zona Norte	110 - 150	120 - 200	130 - 180	120 - 150	100 - 150	130 - 160	40	60
Pacífico Sur	120 - 150	150 - 200	130 - 180	120 - 150	180 - 200	150 - 180	50	60
Regiones Altas 1/	160 - 200	160 - 200	160 - 200	160 - 250	130 - 150	160 - 250	70	70
Amplitud Min- Max	80 - 200	60 - 200	80 - 200	100 - 250	50 - 200	80 - 250	0 - 70	60 - 90

1/ Alturas mayores de 1000 msnm y ciclo vegetativo superior a 15 meses.

2/ En suelos Mollisoles y algunos Vertisoles es recomendable la aplicación de 100 - 150 kg/ha de N, 100 - 120 kg de P₂O₅ y 60 - 80 kg de K₂O.

3/ El P₂O₅ se recomienda aplicarlo como complemento en segunda soca.

4/ Aplicados en caña planta y segunda soca.

La comparación entre respuesta experimental y aplicación comercial de nutrientes, permite deducir que en el caso del N y el K el uso es deficiente, puesto que se determinó insuficiencia por una parte y tendencia al exceso por otra aún con ciclos vegetativos amplios, principalmente en las áreas de mayor altitud, en tanto que, el P se aplica en dosis bajas en ciclo de retoño. El encalado y la adición de Mg parecieran óptimos, pese a lo cual su uso, dosis y frecuencia de aplicación es baja al incluir otros grupos de productores, pese a las permanentes campañas dirigidas a promover su empleo. Las dosis de S son en principio altas, aunque es reconocida la baja toxicidad de ese elemento, aún cuando aplicado en dosis elevadas como lo indica (24).

Como corolario, es importante agregar que la fertilización como práctica de manejo en las plantaciones de caña de azúcar es esencial, en razón de que la inversión es baja y el beneficio elevado. Sobre este aspecto hay que señalar, que el costo de inversión y aplicación de enmiendas y fertilizantes representan en el ciclo de planta (27), un 2,03% y un 7,37%, respectivamente, para un 9,40% del total de los costos agrícolas. Al valorar esos mismos rubros para un ciclo comercial de cinco cosechas, la inversión representa un 0,63% y un 7,53%,

respectivamente, para un costo general del 8,16%, que es bastante bajo cuando comparamos con otras actividades agrícolas.

Durante los últimos años la tendencia del cultivo de la caña en Costa Rica, ha sido hacia la promoción y el fortalecimiento de una **“agricultura de manejo”** en sustitución de la tradicional **“agricultura química”**, tal como lo demuestra el énfasis y auge que prácticas como la subsolada, desaporca, aporca, control físico de malezas, control de madurez y el control biológicos de plagas dentro de la filosofía de manejo integral (MIP), entre muchas otras, han adquirido recientemente (27,28).

A. CONCLUSIONES

1. El área cultivada con caña de azúcar en Andisoles de ladera es importante, al representar un 20,6% del total nacional.
2. La fertilidad natural de los Andisoles es moderada, obligando al empleo de enmiendas y fertilizantes como complemento para asegurar la obtención de rendimientos agroindustriales de caña y sacarosa satisfactorios.
3. Los Andisoles del Valle Central de Costa Rica presentan por lo general alta retención e insuficiencia de fosfatos, bajos contenidos asimilables de Ca, Mg, S, B y Zn; así como concentraciones adecuadas de K y Cu y altos de materia orgánica en las áreas superiores a los 900 msnm. Poseen una textura predominante franco a franco arcillosa que favorece su laboreo mecánico, son profundos, tienen buen drenaje y son de coloración oscura a pardo-rojizo; su topografía es irregular con presencia de altas pendientes en la zona superior a los 900 msnm, lo que constituye uno de sus principales factores limitantes.
4. Los estudios de nutrición y fertilización realizados en Andisoles, indican que en orden de importancia los nutrimentos más limitantes y de mayor respuesta a la producción de la caña de azúcar son: N>P>>-Ca>K>Mg>Zn>S>B.
5. Las condiciones edafoclimáticas del área con suelos de origen volcánico varían con la altitud, lo que conduce a un manejo comercial de las plantaciones de caña diferente según sean las características prevalecientes.
6. La planta de caña de azúcar induce por sus características, estabilidad a los terrenos agrícolas de ladera, minimizando significativamente los efectos erosivos inducidos por la topografía irregular presente en las zonas de cultivo superiores a los 900 msnm, lo que aunado a la fuente de trabajo que significa, proporciona un importante grado de sostenibilidad ecológica y social.

B. LITERATURA CITADA

- 1) ALFARO, R. 1989. Efecto de la Interacción entre Calcio y Fósforo en los Rendimientos de la Caña de Azúcar en San Ramón, Alajuela. Promedio de Dos Cortes. In VIII Congreso Agronómico Nacional. Heredia, Costa Rica. Volumen I. pp: 96-97.
- 2) ALPIZAR, D. 1983. Respuesta de la Caña de Azúcar (*Saccharum officinarum*) a Dosis de Potasio en un Suelo (*Oxic dystrandept*) en Grecia de Alajuela. Tesis Ing. Agr. San José. Universidad de Costa Rica, Facultad de Agronomía. 126 p.
- 3) ALPIZAR, R. 1976. Fertilidad de Suelos Cañeros Costarricenses. Tesis Ing. Agr. San José. Universidad de Costa Rica, Facultad de Agronomía. 1976. 120 p.
- 4) ALVARADO, A; BUOL, S.W. 1975. Toposequence Relationships of Dystrandeps in Costa Rica. Soil Sc. Soc. Am. Proc. 39 (5): 932-937.
- 5) ALVARADO, A. 1980. El Origen de los Suelos. San José. Universidad de Costa Rica, Facultad de Agronomía. 74 p.
- 6) ALVARADO, A. 1984. Manejo y Clasificación de Suelos Derivados de Cenizas Volcánicas de Costa Rica. In VI Congreso Agronómico Nacional. San José, Costa Rica. Sesiones de Actualización. Volumen 2. Pp: 31-45.
- 7) ALVARADO, A; BUOL, S. W. 1985. Field Estimation of phosphorus Retention by Andeps. Soil. Sc. Soc. Am. J. 49(4): 911-919.
- 8) ANDRIESSE, J.P; MULLER, A. 1973. Mineralogical Properties of Two Profiles of Volcanic Ash Soil from Costa Rica. Turrialba 23: 307-317.
- 9) BERTSCH, F. 1982. Fertilidad de Nueve Suelos Clasificados como *Typic dystrandeps* en Costa Rica. Thesis Mg.Sc. Turrialba, Costa Rica. CATIE/UCR. 122 p.
- 10) BERTSCH, F. 1986. Manual para Interpretar la Fertilidad de los Suelos de Costa Rica. San José. Oficina de Publicaciones, Universidad de Costa Rica. 81 p.
- 11) BESOAIN, E. 1976. Mineralogía de Arcillas de Algunos Suelos Volcánicos de Costa Rica. In Blasco, M. y Guerrero, R (eds.). II Panel sobre Suelos Volcánicos de América. Universidad de Nariño - IICA/OEA. Pasto, Colombia. pp: 249-278.
- 12) CHAVERRI, D.; ALVARADO, A. 1979. Cambios Químicos de Importancia Agrícola Sufridos por las Cenizas del Volcán Irazú en 15 Años. Agronomía Costarricense 3 (2): 181-182.
- 13) CHAVES, M. A.; SALAZAR, J.; ARREA, M. 1985. Estudio Comparativo de Rendimiento de 19 Clones de Caña de Azúcar en una Zona de Altura. In VI Congreso de Tecnología Azucarera de Centroamérica y Panamá y 3 er. Simposio Nacional de Caña de Azúcar. Memorias. Ciudad Guatemala, Guatemala. Volumen Campo. Setiembre. pp: 397-422.

- 14) CHAVES, M.A.; RAMIREZ, G.; SALAZAR, J. 1985. Evaluación de Rocas Fosfóricas como Fuente de Fósforo en la Caña de Azúcar. In VI Congreso de Tecnología Azucarera de Centroamérica y Panamá y 3er. Simposio Nacional de Caña de Azúcar. Memorias. Ciudad Guatemala, Guatemala. Volumen Campo. Setiembre. pp: 491-519.
- 15) CHAVES, M.A.; CORRALES, J.L. 1985. Respuesta de la Caña de Azúcar a la Fertilización Fosfórica en una Zona de Altura, Promedio de Dos Cortes. In VI Congreso de Tecnología Azucarera de Centroamérica y Panamá y 3 er. Simposio Nacional de Caña de Azúcar. Memorias. Ciudad Guatemala, Guatemala. Volumen Campo. Setiembre. pp: 521-544.
- 16) CHAVES, M.A.; CORRALES, J.L. 1985. Estudio de Fuentes y Dosis de Carbonato de Calcio en un Suelo Cañero de la Zona Norte de Alajuela, Promedio de Dos Cortes. In VI Congreso de Tecnología Azucarera de Centroamérica y Panamá y 3er. Simposio Nacional de Caña de Azúcar. Memorias. Ciudad Guatemala, Guatemala. Volumen Campo. Setiembre. pp: 545-573.
- 17) CHAVES, M.A.; SALAZAR, J; ARREA, M. 1985. Respuesta de la Caña de Azúcar a Dosis Crecientes de Magnesio-Azufre en la zona de Juan Viñas, Costa Rica. Caña Planta. In VI Congreso de Tecnología Azucarera de Centroamérica y Panamá y 3er. Simposio Nacional de Caña de Azúcar. Memorias. Ciudad Guatemala, Guatemala. Volumen Campo. Setiembre. pp: 601-623.
- 18) CHAVES, M.A.; SALAZAR, J.; ARREA, M. 1985. Efecto de la Fertilización con Boro y Zinc sobre la Caña de Azúcar en Juan Viñas, Costa Rica. Primer Corte. In VI Congreso de Tecnología Azucarera de Centroamérica y Panamá y 3er. Simposio Nacional de Caña de Azúcar. Memorias. Ciudad Guatemala, Guatemala. Volumen Campo. Setiembre. pp: 635-659.
- 19) CHAVES, M. A.; SALAZAR, J. 1986. Efecto de Cuatro Dosis de CaCO_3 sobre los Rendimiento Agroindustriales de la Caña de Azúcar en un Humitropept de Juan Viñas, Costa Rica. Promedio de Dos Cortes. In VII Congreso Agronómico Nacional y XXXIII Congreso de Horticultura ASHS- Región Tropical. Heredia, Costa Rica. Resúmenes. Volumen I. pp: 118-120.
- 20) CHAVES, M.A.; SALAZAR, J. 1989. Efecto de Seis Dosis Crecientes de Potasio Sobre los Rendimientos Agroindustriales de la Variedad de Caña de Azúcar "H 44-3098". Promedio de Dos Cosechas. In VIII Congreso Agronómico Nacional. Cartago, Costa Rica. Volumen I. pp: 74-75.
- 21) CHAVES, M.A. 1989. Nutrición de la Caña de Azúcar en Costa Rica, sus Logros y la Necesidad de Nuevos Enfoques en su Estudio. In VIII Congreso Agronómico Nacional. Cartago, Costa Rica. Volumen I. pp: 80-81.
- 22) CHAVES, M.A.; SALAZAR, J.; GUZMAN, G. 1989. Efecto de Seis Dosis Crecientes d Nitrógeno sobre los Rendimientos Agroindustriales de la Variedad de Caña de Azúcar "H

- 44-3098". Promedio de Dos Cosechas. In VIII Congreso Agronómico Nacional. Cartago, Costa Rica. Volumen I. pp: 74-75.
- 23) CHAVES, M.A.; SALAZAR, J.; GUZMAN, G.; MADIREZ, T. 1989. Respuesta de la Caña de Azúcar, Variedad "H 44-3098" a la Interacción N-K en Hacienda Juan Viñas. Promedio de Dos Cosechas. In VIII Congreso Agronómico Nacional. Cartago, Costa Rica. Volumen I. pp: 74-75.
- 24) CHAVES, M.A. 1988. Efeito de Relações Ca: Mg, Utilizando Carbonatos e Sulfatos, Sobre o Crêscimento e a Nutrição Mineral da Cana de Açúcar. Tese M.Sc. Viçosa, Brasil. Universidade Federal de Viçosa. 186 p.
- 25) CHAVES, M.A.; AGUILAR, F. 1991. Caña de Azúcar *Saccharum spp.* Graminea. San José, Costa Rica. CONITTA/MAG/UNED. Serie ITTA No. 4. 33 p.
- 26) CHAVES, M.A. 1993. Importancia de las Características de Calidad de los Correctivos de Acidez del Suelo: Desarrollo de un Ejemplo Práctico para su Cálculo. San José, Costa Rica. DIECA. Junio. 41 p.
- 27) CHAVES, M.A. 1993. Antecedentes, Situación Actual y Perspectivas de la Agroindustria Azucarera y Alcoholera Costarricense. In Participación de DIECA en el IX Congreso Nacional Agronómico y de Recursos Naturales. San José, Costa Rica. DIECA. Octubre. pp: 1-116.
- 28) CHAVES, M.A. 1993. Antecedentes, Situación Actual y Perspectivas de la Agroindustria Azucarera y Alcoholera Costarricense. In Participación de DIECA en el IX Congreso Nacional Agronómica y de Recursos Naturales. San José, Costa Rica. DIECA. Octubre. pp: 1-116.
- 29) COLMET-DAAGE, F.; MALDONADO, F.; KIMPE DE, C.; TRICHET, M.; FUSIL, G. 1973. Caracteristiques de Quelmes Solsderives de Cendres Volcaniques de la Cordillera Centrale du Costa Rica. Ed. Prov. Office de la Recherche Scientifique et Technique Outremer, Centre des Antilles, Bureau des Soils. Guadalupe. 32 p.
- 30) DIRECCION DE INVESTIGACION Y EXTENSION DE LA CAÑA DE AZUCAR. 1992. Informe Anual de Labores 1991. San José, Costa Rica. DIECA. 230 p.
- 31) DURAN, J.R.; CHAVES, M.A.; RIGGIONI, G. 1993. Logros y Perspectivas del Programa Nacional de Mejoramiento Genético de la Caña de Azúcar de Costa Rica. In Participación de DIECA en el IX Congreso Nacional Agronómico y de Recursos Naturales. San José, Costa Rica. DIECA. Octubre. pp: 127.
- 32) FASSBENDER, H.; MULLER, L.; BALERDI, F. 1968. Estudio del Fósforo en Suelos de América Central. II Formas y su Relación con las Plantas. Turrialba 18 (4): 333-347.
- 33) FORSYTHE, W.; GAVANDE, S.A.; GONZALEZA, M.A. 1969. Propiedades Físicas de Suelos Derivados de Cenizas Volcánicas Considerando Algunos Suelos de América

- Latina. In Panel Sobre Suelos Derivados de Cenizas Volcánicas de América Latina. Turrialba, Costa Rica.
- 34) GONZALEZ, M.A.; GAVANDE, S.A. 1969. Propiedades Físicas de Algunos Suelos Dedicados al Cultivo de la Caña de Azúcar en Costa Rica. Turrialba 19 (2): 234-245.
- 35) GONZALEZ, S.P.; IGUE, K.; BESOAIN, G. 1972. Secuencia de Meteorización y su Relación con las Propiedades de Carga y Superficie de la Fracción Arcilla de Algunos Andosoles de Costa Rica. Turrialba 22 (4): 439-448.
- 36) GUERRERO, J.I; BORNEMISZA, E. 1975. Capacidad de de Intercambio Cationico en Suelos de Cenizas Volcánicas Recientes. Turrialba 25 (4): 385-391.
- 37) GRISOLIA, F.A. 1974. Efecto de la Aplicación de Fósforo, Zinc y Manganeseo en Ocho Suelos Cañeros de Costa Rica. Tesis Ing. Agr. San José. Universidad de Costa Rica, Facultad de Agronomía. 97 p.
- 38) IGUE, K.; FUENTES, R. 1971. Retención y Solubilización de ³² P en Suelos Ácidos de Regiones Tropicales. Turrialba 21 (4): 429-434.
- 39) MATA, R. 1991. Los Órdenes de Suelos en Costa. In Taller de Erosión de Suelos. Heredia, Costa Rica. Universidad Nacional. Memoria. Julio. pp: 27-32.
- 40) MARTINI, J.A. 1970. Caracterización del Estado Nutricional de los Principales Andoles de Costa Rica, Mediante la Técnica del Elemento Faltante en el Invernadero. Turrialba 20 (1): 72-84.
- 41) PARDO, M.T.; GUADALIZ, M. E. 1993. Estudio de la Interacción pH Fuera Iónica sobre la Absorción de Fosfato de Suelos de Carga Variable. In XI Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo y II Congreso Cubano de la Ciencia del Suelo. Memorias. Volumen I. pp: 27-30.
- 42) ROJAS, O.E.; ELDIN, M. 1983. Zonificación Agroecológica para el Cultivo de la Caña de Azúcar (*Saccharum officinarum*) en Costa Rica. San José, IICA/LAICA. Serie Publicaciones Misceláneas. No. 398. 113 p.
- 43) SAENZ, A. 1966. Suelos Volcánicos Cafeteros de Costa Rica. San José, Universidad de Costa Rica. Serie Agronomía No. 6. 353 p.
- 44) SALAZAR, J.A. 1989. Estudio Comparativo de Rendimiento y de Edades de Cosecha de Diez Clones Hawaianos de Caña de Azúcar (*Saccharum spp*). Caña Planta, en Jiménez de Cartago. Tesis Ing. Agr. San José. Universidad de Costa Rica, Facultad de Agronomía. 132 p.
- 45) SOIL SURVEY STAFF. 1990. Keys to soil Taxonomy. Blacksburg, Virginia, USA. SMSS Technical Monograph No. 19. 423 p. 46. SUAREZ, D.; IGUE, K. 1974. The Effect of Granule Size and Phosphorus uptake from Volcanic Ash Soil. Turrialba 24 (2): 180-186.

- 46) URRUTIA, J.; IGUE, K. 1972. Reacciones de los Fosfatos Monocálcico y Dicálcico Anhidro en Suelos Volcánicos. *Turrialba* 22 (2): 144-149.
- 47) VEGA, G. 1985. Evaluación del Manejo Agronómico de la Caña de Azúcar (*Saccharum officinarum*) en Hacienda La Luisa S.A., con Énfasis en la Fertilización Comercial. Tesis Ing. Agr. Grecia. Universidad de Costa Rica, Centro Regional de Occidental. 149 p.
- 48) ZUÑIGA, E. 1972. Contenido y Variación Estacional de N-P-K-Ca y Mg en la Caña de Azúcar. Tesis Ing. Agr. San José. Universidad de Costa Rica, Facultad de Agronomía. 127 p.