

F. BERTSCH*
A. CORDERO**
A. ALVARADO***

Summary

The fertility of nine Typic Dystrandepts of Costa Rica was studied under laboratory and greenhouse conditions. Chemical soil analysis, retention curves for K, Mg, Mn, Zn, Cu, P, B and S, foliar analysis from sorghum plants grown on unfertilized soils, and a greenhouse test with the missing or additive element technique with sorghum in a liter soil pot, were realized. The methods described by Díaz-Romeu & Hunter for a qualitative soil fertility diagnosis were used.

The studied cations present similar nutritional characteristics in the nine Typic Dystrandepts. As shown by the greenhouse data, K was the most limiting cation after the P deficiency was corrected. It was observed that soil pH and soil bases level are useful potential fertility indexes for volcanic soils, because Ca and Mg initial contents determine natural fertility. In these soils, exchangeable Al was not found important. No Fe problems were observed and the Mn and Zn problems found by soil analysis were not reflected in the greenhouse data. Only some soils from the Cordillera de Guanacaste respond positively to Cu application.

Ca concentration in Typic Dystrandepts of Costa Rica varies, with a 90% statistic probability, from 3.2 to 11.7 meq/100 ml, Mg, from 0.9 to 3.2 meq/100 ml, K, from 0.03 to 0.83 meq/100 ml, Fe, from 27 to 104 µg/ml, Mn from traces to 60 µg/ml, Zn, from 1.4 to 7.0 µg/ml and Cu, from traces to 23 µg/ml. Soil pH in water varies between 5.6 and 6.7 and in KCl between 4.9 and 5.6. Exchangeable acidity varies from 0.07 to 0.12 meq/100 ml.

Ca concentration in foliar tissue of sorghum grown in greenhouse on these soils varies from 0.30 to 0.85%, Mg, from 0.20 to 0.59%, K, from 0.68 to 4.01%, Fe, from 29 to 167 ppm, Mn, from traces to 237 ppm, Zn from 7 to 59 ppm, and Cu, from 8 to 26 ppm.

¹ Recibido para publicación el 30 de marzo de 1984. Este trabajo constituye parte de la tesis de maestría de la primera autora en el Sistema de Estudios de Posgrado UCR-CATIE, y recibió apoyo financiero de la Vicerrectoría de Investigación de la Universidad de Costa Rica a través del proyecto número 02-07-06-67, "La fertilidad de las asociaciones de suelos de origen volcánico".

Los autores le agradecen al Dr. Elemer Bornemisza su colaboración en la revisión y comentarios al presente artículo, y a la Unidad de Suelos del MAG las facilidades brindadas para efectuar los análisis químicos.

* Universidad de Costa Rica, Turrialba, Costa Rica. Dirección permanente: Apartado 914, San José, Costa Rica

** Centro de Investigaciones Agronómicas, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica

*** Laboratorio de Suelos, Escuela de Ingeniería, Facultad de Agronomía, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica

Introducción

El uso agropecuario de los andepts, "andosoles" o suelos derivados de cenizas volcánicas se extiende a nivel mundial en áreas pequeñas principalmente ubicadas a lo largo del Anillo de Fuego o Faja Circumpacífica. En términos porcentuales estos suelos son poco abundantes; en Costa Rica existen aproximadamente 150.000 ha (3% del área total) bajo uso intensivo en café, hortalizas, caña de azúcar y ganado de leche.

Debido a la gran actividad que soportan, la información que existe sobre el comportamiento nutricional de andosoles en diferentes partes del mundo (Japón, Hawaii, América Latina) es abundante, aunque poco concluyente. El objetivo de este trabajo es concretar, a partir de un grupo de nueve suelos clasificados como Typic Dystrandept y usando métodos de laboratorio e invernadero, las características nutricionales de los suelos de este tipo ubicados fuera del Valle Central de Costa Rica.

En la primera parte de este estudio se presenta la metodología aplicada para todo el trabajo, y el comportamiento nutricional de la acidez, las bases (Ca, Mg, K) y los elementos menores catiónicos (Fe, Mn, Zn, Cu). La segunda parte comprende el comportamiento de los nutrientes aniónicos (N, P, B, S, Mo), la materia orgánica y la textura.

Materiales y métodos

Los suelos en estudio, previamente clasificados por Cervantes (2), Méndez (9) y López (7) como Typic Dystrandept, provienen de los puntos indicados en la Figura 1. Las muestras se tomaron a una profundidad de 0-20 cm, se secaron al aire, trituraron y pasaron por un tamiz de 2 mm. La evaluación de la fertilidad se hizo a través de los siguientes procedimientos:

1. Análisis químico de los suelos en el laboratorio
2. Estudios de retención de nutrientes en el laboratorio
3. Análisis foliar de plantas de sorgo desarrolladas en invernadero sobre los suelos sin fertilizar
4. Prueba biológica en invernadero mediante la técnica del elemento faltante o aditivo.

En general se siguió la metodología descrita por Diaz-Romeu y Hunter (3) para diagnósticos cualitativos de fertilidad de suelos.

Análisis químico de suelos

El pH se determinó potenciométricamente en H₂O y en KCl 1N, con una relación de 10 ml de suelo a 25 ml de solución.

La extracción de la acidez intercambiable ($Al^{+3} + H^+$ intercambiables), del Ca y del Mg se realizó con KCl 1N en una relación 1:10. Para determinar la acidez, se tituló con NaOH 0.01 N en presencia de fenoftaleína. Las concentraciones de Ca y Mg se determinaron en un espectrofotómetro de absorción atómica.

Para el K, Fe, Mn, Zn, Cu y P, se efectuó una extracción de 1:10 con solución Olsen modificada (NaHCO₃ 0.5 N, EDTA 0.01 M). Las concentraciones de K, Fe, Mn, Zn y Cu se determinaron en un espectrofotómetro de absorción atómica. Para la determinación colorimétrica de P se siguió el procedimiento del azul de molibdeno, usando soluciones diluidas de cloruro estañoso y molibdato de amonio.

El B y el S se extrajeron con una solución de CaH₄(PO₄)₂ en una proporción de 10 ml de suelo a 25 ml de solución extractora. El B se determinó por colorimetría usando curcúmina. Para el S se usó el procedimiento turbidimétrico a base de BaCl₂, con floculante PVP (polyvinilpyrrolidone).



Fig. 1. Ubicación geográfica de los nueve Typic Dystrandept estudiados. 1. Dos Ríos, Upala, Alajuela. 2. Santa María, Bagaces, Guanacaste. 3. Bijagua, Upala, Alajuela. 4. La Laguna, Tilarán, Guanacaste. 5. Monteverde, Puntarenas. 6. Zarcero, Alfaro Ruiz, Alajuela. 7. Sabalito, Coto Brus, Puntarenas. 8. Agua Buena, Coto Brus, Puntarenas. 9. Agropecuario, Corredores, Puntarenas.

El porcentaje de materia orgánica se determinó por el método de combustión húmeda de Walkey y Black, modificado por Saiz del Río y Bornemisza. El análisis granulométrico para caracterización de texturas se realizó según el método modificado de Bouyoucos.

Para interpretar los análisis de suelo se usó la guía de niveles críticos (Cuadro 1) elaborada por el Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE).

Estudios de retención de nutrimentos

Las curvas de retención se realizaron para los elementos catiónicos K, Mn, Zn y Cu, y para los aniones P, B y S. Los suelos se incubaron con soluciones de concentraciones crecientes del elemento deseado y se dejaron secar. Las concentraciones no retenidas de cada nutrimento se extrajeron y determinaron con los procedimientos convencionales descritos anteriormente.

Las concentraciones adicionadas en las curvas de elementos catiónicos aparecen junto con los resultados de extracción en el Cuadro 6.

Las curvas se usaron para determinar el porcentaje de retención de P, B y S, y para establecer las cantidades a adicionar en los tratamientos de la prueba biológica.

Análisis foliar

Los tejidos de plantas de sorgo desarrolladas en invernadero sobre los suelos en condiciones naturales (sin fertilizar), se secaron, molieron y digirieron en calor con una mezcla de metanol, H_2SO_4 y H_2O_2 al 30% (3).

Las concentraciones de Ca, Mg, K, Fe, Mn, Zn y Cu se determinaron en un espectrofotómetro de absorción atómica, y la de P por colorimetría.

Para interpretar los resultados de estos análisis foliares se utilizó la guía (preparada a partir de datos de varios autores) que se presenta en el Cuadro 2.

Prueba biológica o técnica del elemento faltante o aditivo

Esta técnica consiste en diseñar un tratamiento óptimo teórico basado en el análisis químico del suelo y en las curvas de retención. Posteriormente se establece una serie de tratamientos donde falta o se adiciona un elemento a la vez, de acuerdo a su presencia o ausencia en el óptimo. La respuesta en rendimiento de estos tratamientos es un reflejo del comportamiento individual de cada nutrimento en el suelo en presencia de cantidades adecuadas de todos los demás.

El tratamiento óptimo teórico para cada suelo consistió en la adición de K, Mn, Zn, Cu, P y S de

Cuadro 1. Guía de interpretación para análisis de suelos, adaptado de Díaz-Romeu y Hunter (3).

Elemento (unidades)	Nivel crítico	Ambito óptimo
P ($\mu\text{g}/\text{ml}$) ¹	12	20 - 80
Ca (meq/100 ml) ²	2.2	4.0 - 36
Mg (meq/100 ml) ²	0.8	2.0 - 18
K (meq/100 ml) ¹	0.2	0.4 - 3
Fe ($\mu\text{g}/\text{ml}$) ¹	10	20 - 80
Mn ($\mu\text{g}/\text{ml}$) ¹	5	10 - 100
Zn ($\mu\text{g}/\text{ml}$) ¹	3	6 - 36
Cu ($\mu\text{g}/\text{ml}$) ¹	1	3 - 20
B ($\mu\text{g}/\text{ml}$) ³	0.2	0.5 - 8
S ($\mu\text{g}/\text{ml}$) ³	12	20 - 80
Ca/Mg		1.9 - 6.2
Mg/K		3.6 - 14.0
Ca + Mg/K		10 - 60

1. Olsen Modificado 1:10

2. KCl 1 N 1:10

3. $\text{CaH}_4(\text{PO}_4)_2$ 1:2.5

Cuadro 2. Guía de interpretación para análisis foliar de sorgo de grano, adaptado de Jones (6).

Elemento (unidades)	Ambito adecuado hojas jóvenes ¹	Ambito adecuado planta entera ²
N (%)	3.2 - 4.2	3.5 - 4.0
P (%)	0.20 - 0.60	0.30 - 0.60
Ca (%)	0.15 - 0.90	0.90 - 1.30
Mg (%)	0.20 - 0.50	0.35 - 0.50
K (%)	2.0 - 3.0	3.0 - 4.5
Fe (ppm)	55 - 200	160 - 250
Mn (ppm)	6 - 100	40 - 150
Zn (ppm)	20 - 40	30 - 60
Cu (ppm)	2 - 15	8 - 15

1 Hojas jóvenes completamente desarrolladas, 37-56 días después de la siembra

2 Planta entera, 23-29 días después de la siembra.

acuerdo a las cantidades que las curvas de retención indicaron como necesarias para tener en solución tres veces el nivel crítico, valor establecido para estudios de invernadero por Diaz-Romeu y Hunter (3). El Mg se añadió hasta optimizar los equilibrios Ca-Mg-K según las relaciones señaladas en el Cuadro 1. En N se incluyó en forma uniforme para todos los suelos: una parte directamente en el suelo y otra disuelta en el agua de riego.

Los tratamientos faltantes para los elementos Mg, K, Mn, Zn, Cu, N, P y S, incluyeron lo mismo que el óptimo menos el elemento en prueba. Cuando alguno de estos elementos se encontró en suficiencia según el análisis de suelo, no quedó incluido en el óptimo y por lo tanto el tratamiento para ese nutrimento fue aditivo.

Los tratamientos para Ca, Fe y Mo fueron aditivos en todos los suelos porque los dos primeros nunca aparecieron deficientes según los análisis de suelo, y del tercero, no se realizó análisis. La cantidad de elemento agregado en los tratamientos aditivos fue la sugerida por la metodología (3).

El tratamiento de B también fue siempre aditivo, sin embargo la cantidad adicionada varió según lo indicara la curva de retención respectiva. Se incluyeron además, el tratamiento testigo y un tratamiento óptimo con doble dosis de P.

Las cantidades de cada nutrimento aplicadas en los diferentes tratamientos de los nueve suelos se resumen en el Cuadro 3.

Se usó 16 plantas de sorgo var. R 1029A como planta indicadora en macetas de un litro de suelo regadas por capilaridad. El experimento se cosechó

aproximadamente a la cuarta semana de desarrollo. El efecto de los tratamientos se evaluó como peso/maceta. También se estimó el peso verde/maceta, la altura de plantas, la cantidad absorbida (mg/maceta) de Ca, Mg, K, Fe, Mn, Zn, Cu y P, y las concentraciones de Ca, Mg, K, Mn, Cu y P presentes en el suelo de cada tratamiento al final del experimento.

Para calcular los mg de nutrimentos absorbidos/maceta, se determinó la concentración presente en el tejido foliar de las plantas desarrolladas en cada tratamiento según el procedimiento anotado anteriormente, y después se relacionó con el peso seco correspondiente. Las concentraciones de nutrimentos que quedaron en los suelos después del experimento se determinaron siguiendo las metodologías ya descritas.

El análisis estadístico de esta prueba se efectuó para cada variable de acuerdo a un diseño de bloques completos al azar y para establecer diferencias entre el tratamiento óptimo y el resto de los tratamientos se usó la prueba de Dunnett, al 0.05 (12).

La interpretación de la prueba biológica se respaldó principalmente en los resultados del análisis de la variable peso seco/maceta. Las otras variables sirvieron como comprobación de las conclusiones extraídas con el peso seco, o para indicar circunstancias particulares.

Resultados y discusión

Análisis químico de cationes en los suelos

Los nueve suelos estudiados presentan un amplio grado de similitud cualitativa en el comportamiento nutricional de los cationes.

Cuadro 3. Cantidades adicionadas a Typic Dystrandepts de Costa Rica en los tratamientos de la prueba biológica en invernadero.

Suelos	Tratamientos ¹	Cantidad adicionada µg/ml												
		N	P	2P	Ca	Mg	K	Fe	Mn	Zn	Cu	B	S	Mo
DOS RIOS	Optimo	50	570	0	0	180	0	0	0	12	0	0	252	0
	Faltantes	-50	-570			-180				-12			-252	
	Aditivos			+570	+200		+100	+20	+30		+2	+7.6		+3
SANTA MARIA	Optimo	50	580	0	0	330	0	0	0	12	0	0	120	0
	Faltantes	-50	-580			-330				-12			-120	
	Aditivos			+580	+200		+100	+20	+30		+2	+15.6		+3
BIJAGUA	Optimo	50	660	0	0	180	220	0	0	20	0	0	192	0
	Faltantes	-50	-660			-180	-220			-20			-192	
	Aditivos			+660	+200			+20	+30		+2	+14.0		+3
LA LAGUNA	Optimo	50	230	0	0	90	90	0	66	12	0	0	84	0
	Faltantes	-50	-230			-90	-90		-66	-12			-84	
	Aditivos			+230	+200			+20			+2	+4.8		+3
MONTEVERDE	Optimo	50	310	0	0	200	100	0	96	10	1	0	96	0
	Faltantes	-50	-310			-200	-100		-96	-10	-1		-96	
	Aditivos			+310	+200			+20				+1.6		+3
ZARCERO	Optimo	50	370	0	0	150	0	0	0	12	3.2	0	144	0
	Faltantes	-50	-370			-150				-12	-3.2		-144	
	Aditivos			+370	+200		+100	+20	+30			+7.6		+3
SABALITO	Optimo	50	470	0	0	0	140	0	0	12	0	0	264	0
	Faltantes	-50	-470				-140			-12			-264	
	Aditivos			+470	+200	+120		+20	+30		+2	+10.8		+3
AGUA BUENA	Optimo	50	400	0	0	180	190	0	36	12	0	0	204	0
	Faltantes	-50	-400			-180	-190		-36	-12			-204	
	Aditivos			+400	+200			+20			+2	+3.6		+3
CORREDORES	Optimo	50	400	0	0	120	0	0	72	12	1.6	0	114	0
	Faltantes	-50	-400			-120			-72	-12	-1.6		-114	
	Aditivos			+400	+200		+100	+20				+2.0		+3

¹ A cada tratamiento faltante se le adicionó lo mismo que al óptimo menos la cantidad indicada para el elemento respectivo, y a cada tratamiento aditivo se le adicionó lo mismo que al óptimo más la cantidad indicada para el elemento respectivo

En el Cuadro 4 se presentan los resultados de laboratorio que corresponden al análisis químico de los cationes y otras propiedades en los nueve suelos en estado original. Como se puede apreciar, aparecen deficiencias de Mn en cuatro de los suelos, de Zn en tres de los suelos y de K en dos de los suelos. El Ca, el Mg, el Fe y el Cu se muestran adecuados en todos los suelos.

La reacción de los nueve suelos estudiados es superior a 5, con valores de acidez intercambiable bajos y porcentajes de saturación de bases altos. Resultados similares en suelos volcánicos de Costa Rica han sido informados por Igue y Fuentes (5), y Palencia y Martini (10), quienes además mencionan el papel poco importante que juega el Al intercambiable en estos suelos.

La mayoría de los suelos presenta una relación inversa entre el Ca y el Cu (Cuadro 5), explicable por la mayor solubilidad que presenta el Cu a pH ácidos. Sin embargo, esta relación no se manifestó con elementos más susceptibles a la acidez como el Mn y el Zn. Las proporcionalidades directas entre el Mn y el Zn, y el Mn y el Cu, confirman el comportamiento semejante que presentan estos tres cationes debido a su carácter y tamaño iónico.

En el Cuadro 5 se presentan índices de correlación significativos e inversos entre la cantidad de materia orgánica y los tres microelementos más susceptibles de formar organominerales (Cu, Fe y Zn). Este resultado ratifica la activa participación de los materiales orgánicos en estos suelos, ya que a través de sus efectos quelatantes pueden determinar la

Cuadro 4. Análisis químico de Typic Dystrandepts de Costa Rica.

Propiedades químicas	Suelos								
	Dos Rios	Santa María	Bijagua	La Laguna	Monteverde	Zarcero	Sabalito	Agua Buena	Corredores
pH H ₂ O	5.7	5.7	5.8	6.2	6.0	5.9	6.0	5.6	6.0
pH KCl	5.1	5.0	5.2	5.6	5.4	5.1	5.1	5.0	5.4
Acidez (meq/100 ml)	0.10	0.09	0.12	0.09	0.08	0.08	0.09	0.12	0.08
Ca (meq/100 ml)	3.2	6.6	11.3	9.4	10.3	7.4	6.4	4.8	7.9
Mg (meq/100 ml)	0.9	2.5	1.7	2.2	1.6	2.1	3.1	1.3	2.7
K (meq/100 ml)	0.45	0.76	0.11 ^D	0.34	0.36	0.60	0.32	0.15 ^D	0.79
Fe (µg/ml)	110	73	73	56	62	87	49	50	31
Mn (µg/ml)	24	81	30	4 ^D	3 ^D	8	11	4 ^D	2 ^D
Zn (µg/ml)	6.0	7.3	3.8	3.7	5.6	4.1	2.6 ^D	2.5 ^D	2.6 ^D
Cu (µg/ml)	25.0	22.0	7.6	6.5	3.8	6.0	8.7	9.2	3.3
Bases (meq/100 ml)	4.55	9.86	13.11	11.94	12.26	10.10	9.82	6.25	11.39
Saturación de bases (%)	97.8	99.1	99.1	99.3	99.4	99.2	99.1	98.1	99.3

Laboratorio de Suelos, MAG, Costa Rica

D = deficiente, inferior al nivel crítico según la guía de interpretación, Cuadro 1

Cuadro 5. Correlaciones significativas entre características químicas de Typic Dystrandepts de Costa Rica.

Características correlacionadas		Valor r
pH KCl	vs	pH H ₂ O 0.85 ⁺⁺
Ca (meq/100 ml)	vs	Cu (µg/ml) 0.66 ⁺
Mn (µg/ml)	vs	Zn (µg/ml) 0.72 ⁺
Mn (µg/ml)	vs	Cu (µg/ml) 0.71 ⁺
Materia orgánica (%)	vs	Fe (µg/ml) 0.73 ⁺
Materia orgánica (%)	vs	Zn (µg/ml) -0.75 ⁺
Materia orgánica (%)	vs	Cu (µg/ml) -0.73 ⁺
Fe (µg/ml)	vs	Zn (µg/ml) 0.65 ⁺
Zn (µg/ml)	vs	Cu (µg/ml) 0.68 ⁺
Cu (µg/ml)	vs	Fe (µg/ml) 0.67 ⁺

+ Significativo, al 0.05

++ Altamente significativo, al 0.01

disponibilidad de algunos elementos menores. Por su parte, las concentraciones de Cu, Fe y Zn, correlacionaron positivamente entre sí.

Estudio de retención de cationes

En comparación con los aniones, el fenómeno de retención de cationes en suelos volcánicos resulta de poca importancia; la magnitud es baja y el comportamiento desuniforme. El Cuadro 6 resume los resultados de las curvas de retención para cada cation estudiado en los nueve suelos.

Bajo condiciones de laboratorio todos los suelos fijan Zn. sin embargo, el fenómeno no afecta el crecimiento de las plantas (Cuadro 8). Es probable que esta sobrestimación del problema de Zn ocurra porque el nivel crítico que se usó es muy alto. La retención de K y Mn se presenta en aquellos suelos donde el análisis de suelos también señaló problemas, dos y cuatro casos, respectivamente. Además, tres suelos presentan retención de Cu. En general no existió correlación de estos resultados con el crecimiento en el invernadero (Cuadro 8). Es probable que sea la etapa forzada de incubación bajo condiciones de laboratorio la que estimule esta retención de cationes.

Cuadro 6. Curvas de retención de potasio, manganeso, zinc y cobre en Typic Dystrandepts de Costa Rica.

Nutrimentos	Cantidades agregadas $\mu\text{g/ml}$	Cantidades extraídas en cada suelo $\mu\text{g/ml}$								
		Dos Ríos	Santa María	Bijagua	La Laguna	Monte-verde	Zarcero	Sabalito	Agua Buena	Corredores
POTASIO ⁺	0.0	0.46	0.95	0.07	0.34	0.31	0.60	0.24	0.10	0.70
	17.5	0.49	0.96	0.10	0.39	0.34	0.64	0.27	0.13	0.68
	35.0	0.52	1.03	0.16	0.46	0.39	0.72	0.32	0.18	0.79
	70.0	0.64	1.13	0.23	0.56	0.49	0.77	0.41	0.26	0.85
	140.0	0.76	1.23	0.39	0.74	0.70	0.96	0.58	0.44	1.05
	210.0	1.00	1.43	0.58	0.95	—	—	0.81	0.62	1.25
	280.0	1.23	1.60	0.74	1.29	1.07	1.35	1.00	0.89	1.47
	350.0	1.38	1.72	0.93	1.40	1.27	1.53	1.18	1.07	1.67
	420.0	1.55	1.92	1.11	1.60	1.47	1.75	1.35	1.23	1.87
	560.0	2.00	+2.00	1.45	2.03	1.95	+2.00	1.77	1.60	+2.00
	700.0			1.79		+2.00		2.00	2.03	
MANGANESO	0.0	+100.0	83.0	+100.0	3.0	3.0	26.0	23.0	4.0	1.5
	2.5		86.0		3.0	4.0	31.0	20.5	4.0	2.0
	5.0		88.0		3.5	3.0	33.0	20.0	5.0	2.0
	10.0		89.0		4.0	3.5	22.5	19.0	5.5	2.5
	20.0		92.0		4.5	4.0	20.0	19.0	8.0	3.5
	30.0		+100.0		5.0	—	—	19.0	12.0	4.5
	40.0				6.5	5.0	28.5	23.5	17.0	6.0
	50.0				8.5	6.0	34.0	29.0	24.0	8.0
	60.0				10.0	6.0	40.0	34.0	32.0	10.0
	80.0				23.5	8.0	66.0	51.5	47.0	22.0
	100.0				51.0	14.0	85.0	73.0	68.5	41.0
ZINC	0.0	4.8	7.0	8.2	3.8	4.4	3.0	3.2	3.6	2.3
	1.0	5.8	6.7	7.4	3.0	4.5	3.7	3.0	4.2	3.8
	2.0	5.6	6.7	9.0	7.0	6.0	4.8	4.8	4.1	4.2
	4.0	5.6	6.7	8.0	7.2	5.8	4.8	5.5	5.4	4.8
	8.0	7.0	7.0	7.6	7.5	8.0	6.8	6.5	6.8	7.2
	12.0	8.2	8.6	9.4	8.6	—	—	8.4	8.2	8.8
	16.0	10.2	8.6	8.3	11.0	12.4	11.0	12.0	11.2	11.8
	20.0	11.2	10.2	8.6	13.6	14.2	13.0	13.2	13.6	12.0
	24.0	13.2	12.7	13.4	16.2	16.8	16.2	15.6	16.0	16.2
	32.0	16.2	14.0	11.7	17.6	20.0	19.8	18.4	+20.0	19.8
	40.0	17.8	14.6	13.6	17.6	+20.0	+20.0	+20.0		+20.0
COBRE	0.0	23.0	18.5	7.0	3.0	3.0	4.0	7.0	8.0	3.0
	1.0	23.0	17.5	7.5	4.0	3.0	4.0	7.0	8.5	3.0
	2.0	23.0	19.0	8.0	4.0	3.0	4.0	7.5	9.0	3.5
	4.0	25.0	20.5	8.5	5.0	4.0	5.0	8.0	9.5	4.0
	8.0	26.0	21.0	9.0	6.0	6.0	7.5	10.0	12.0	5.5
	12.0	28.0	23.0	10.5	7.0	—	—	11.0	14.0	6.5
	16.0	31.0	23.5	11.5	10.0	9.5	11.5	13.0	16.5	8.0
	20.0	33.0	28.0	12.5	11.5	11.0	13.5	16.0	20.0	9.0
	24.0	35.0	31.0	15.0	13.0	13.0	16.0	18.0	22.0	11.5
	32.0	41.0	33.5	16.5	17.5	17.0	20.0	21.0	28.0	14.0
	40.0	42.0	37.0	19.5	19.0	20.0	24.0	24.0	29.0	18.0

Laboratorio de suelos, MAG, Costa Rica.

⁺ Las cantidades extraídas de K corresponden a meq/100 ml

Cuadro 7. Contenido foliar de nutrimentos en plantas de sorgo desarrolladas bajo condiciones de invernadero en Typic Dystrandepts sin fertilizar, de Costa Rica.

Nutrimentos	Suelos								
	Dos Ríos	Santa María	Bijagua	La Laguna	Monte-verde	Zarcero	Sabalito	Agua Buena	Corredores
Ca (%)	0.38	0.59	0.67	0.45	0.59	0.72	0.45	0.90	0.43
Mg (%)	0.29	0.46	0.42	0.28	0.30	0.45	0.43	0.65	0.32
K (%)	1.76 ^D	1.76 ^D	0.94 ^D	2.79	2.74	3.75	2.92	1.03 ^D	3.42
Fe (ppm)	47 ^D	182	91	91	61	13	87	52 ^D	121
Mn (ppm)	279	182	108	31	35	82	72	86	111
Zn (ppm)	16 ^D	59	37	30	24	59	24	18 ^D	30
Cu (ppm)	17.6	23.5	26.4	12.0	8.8	19.3	11.7	12.2	13.8

Laboratorio de Suelos, CATIE, Costa Rica.

D = deficiente, inferior a los ámbitos adecuados según la guía de interpretación para análisis foliar de sorgo para grano, Cuadro 2.

Cuadro 8. Resultados cualitativos de la prueba biológica (técnica del elemento faltante o aditivo) practicada en invernadero sobre Typic Dystrandepts de Costa Rica.

Nutrimentos	Suelos								
	Dos Ríos	Santa María	Bijagua	La Laguna	Monte-verde	Zarcero	Sabalito	Agua Buena	Corredores
Calcio	D	A	A	A	A	A	A	A	A
Magnesio	A	A	A	<u>R</u>	A	A	A	A	A
Potasio	<u>D</u>	A	A	<u>R</u>	A	A	<u>R</u>	<u>D</u>	A
Hierro	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Manganeso	A	A	A	A	A	A	A	<u>D</u>	A
Zinc	A	A	A	A	A	A	A	<u>R</u>	A
Cobre	<u>D</u>	<u>R</u>	A	A	A	A	A	A	A

A = adecuado, diferencia no significativa con respecto al óptimo según el peso seco y según otras variables, Prueba de Dunnett

R = posible respuesta, diferencia no significativa con respecto al óptimo según el peso seco, pero diferencia significativa con respecto al óptimo según otras variables, Prueba de Dunnett.D = deficiente, diferencia significativa con respecto al óptimo según el peso seco y según otras variables, Prueba de Dunnett

Análisis foliar de nutrimentos catiónicos

El contenido foliar de nutrimentos presente en plantas de sorgo desarrolladas en el invernadero en los suelos sin fertilizar, se expone en el Cuadro 7

Las plantas de sorgo creciendo en los suelos de Bijagua, Agua Buena, Dos Ríos y Santa María muestran una concentración de K foliar baja (menos de 2%) En los dos primeros suelos esta concentración es reflejo del bajo contenido de este elemento en el suelo (menos de 0.2 meq de K/100 ml), mientras que en

los dos últimos es probable que se presente una lenta velocidad de restitución del elemento a partir de formas moderadamente disponibles, que impide satisfacer adecuadamente la demanda de plantas en crecimiento activo (1).

La deficiencia de Mn esperada según el análisis químico en cuatro suelos, no se manifiesta en ningún caso a través de las concentraciones foliares; la de Zn, apuntada para los tres suelos de la zona sur, sólo se comprueba foliarmente para el suelo de Agua Buena, y en oposición con lo expresado por el análisis de

suelo, en Dos Ríos hay insuficiencia de Zn en los tejidos de sorgo. Esta contradicción enfatiza la necesidad de afinar los estudios de correlación para el Zn. Por otra parte, las plantas que crecen en los suelos de Dos Ríos y Agua Buena muestran concentraciones bajas de Fe en sus tejidos.

Prueba biológica

Como los alcances de una prueba a nivel de invernadero son esencialmente cualitativos, la interpretación de los resultados de este experimento se hizo considerando las siguientes categorías de calidad de problemas: (i) **D** que hace referencia a los nutrimentos que manifiestan deficiencia comprobada a través del peso seco/maceta y otras variables; (ii) **R** que se refiere a los nutrimentos que manifiestan posibilidades de respuesta, y (iii) **A** que identifica a los nutrimentos que, de acuerdo a la respuesta biológica de la planta indicadora, se encuentran en cantidad adecuada en el suelo.

En el Cuadro 8 se presenta la interpretación cualitativa de los resultados de la prueba biológica para los nutrimentos catiónicos, practicada en el invernadero sobre los nueve suelos en estudio.

En forma esporádica y más como posible respuesta a la adición del elemento que como deficiencia muy limitante en la producción se presenta respuesta al K en cuatro de los suelos, respuesta al Cu en dos de los suelos y respuesta al Ca, Mg, Mn y Zn en uno de los suelos.

El K se manifiesta deficiente en dos suelos, Dos Ríos y Agua Buena, y con posibilidades de responder en otros dos, La Laguna y Sabalito. Los contenidos de K en estos cuatro suelos corresponden a 0.45, 0.15, 0.34 y 0.32 meq/100 ml, respectivamente. De acuerdo a Sticher (13) en los suelos volcánicos, además del K intercambiable externo, extraíble con una solución de Olsen modificada, es posible encontrar K parcialmente atrapado en los microporos de la alofana. En esta condición interna el K constituye una fracción moderadamente disponible que es capaz de restituir, a diferentes velocidades, el K intercambiable conforme éste va siendo usado. Una extracción de K con Olsen modificado en modo alguno aclara la dinámica de esta fracción de reserva. Por lo tanto, la deficiencia y posibilidad de respuesta encontrada en suelos con más de 0.2 meq de K/100 ml de suelo puede atribuirse a una baja velocidad de restitución acentuada aún más por los efectos del invernadero y por las altas concentraciones requeridas por la planta durante esas cuatro primeras semanas de crecimiento. En el suelo Bijagua, con 0.11 meq de K/100 ml es probable que las plantas crezcan en forma

adecuada debido contrariamente, a una eficiente restitución del K intercambiable a partir de la fracción moderadamente disponible mencionada con anterioridad.

Dada la discrepancia entre los datos de análisis del suelo y la respuesta biológica a la adición de K, también anotada por Suárez (11), quizá debería considerarse la determinación de la velocidad de restitución de K como un parámetro necesario para estimar la respuesta a la adición de este elemento en el campo.

El Mn y el Zn parecía que iban a jugar un papel limitante sobre la producción, pues están poco disponibles en los suelos, sin embargo no fue así. En estos suelos, el rejuvenecimiento continuo de cenizas y su meteorización simultánea, aunque los niveles disponibles sean bajos, puede conducir a un suplemento adecuado de algunos elementos menores. También, al favorecerse la mineralización de la materia orgánica, hay liberación proporcional de todos los elementos.

El Fe no manifiesta problemas ni respuestas en ninguno de los suelos, debido al carácter andesítico o basáltico de las cenizas originarias que garantiza altos contenidos de Fe, a través de minerales como el olivino.

Respuestas a Cu se presentan en forma aislada únicamente en los suelos de la Cordillera de Guana-caste. Esto ratifica la participación del material parental en el suplemento de micronutrimentos (8), especialmente en suelos relativamente jóvenes. El efecto quelatante de la materia orgánica es posible que también juegue un papel fundamental en la indisponibilidad de Cu (14).

Los suelos de Zarcero, Sabalito, La Laguna y Santa María tienden a presentar las más altas producciones de materia seca, y los de Dos Ríos, Monteverde y Agua Buena, las más bajas. El factor más asociado con esta secuencia de crecimiento parece ser la fertilidad inicial del suelo. La correlación entre los crecimientos máximos y los crecimientos de los tratamientos testigo de cada suelo es significativa, directa y superior a 0.7. En presencia de fertilización, las mayores producciones de materia seca se obtendrán en aquellos suelos volcánicos cuyos niveles de fertilidad natural sean más altos.

Los componentes nutricionales del suelo que determinan en forma directa la fertilidad natural de los Typic Dystrandept, son las bases. Este efecto se pudo identificar a través de correlaciones simples entre los crecimientos máximos y los de los tratamientos testigo con cada uno de los aspectos eva-

Cuadro 9. Indices de correlación entre los tratamientos con crecimiento máximo y testigo de nueve Typic Dystrandepts de Costa Rica en invernadero, y las características químicas de los suelos.

Crecimientos	Características químicas			
	pH H ₂ O	Acidez (meq/100 ml)	Mg (meq/100 ml)	Suma de bases
TESTIGO	0.82 ⁺⁺	-0.72 ⁺	0.90 ⁺⁺	0.68 ⁺
MAXIMO	0.69 ⁺	-0.48	0.65 ⁺	0.35

+ Significativo, al 0.05.

++ Altamente significativo, al 0.01.

luados en el análisis del suelo inicial. Los resultados de estas correlaciones se presentan en el Cuadro 9.

El cociente entre el crecimiento máximo y el crecimiento del testigo se llama Índice de Respuesta a la Fertilización. En los suelos con fertilidad natural baja, o sea con pH bajo y niveles de Ca y Mg bajos, el valor de este índice es alto, mientras que en los suelos ricos en bases el índice es bajo. Lo anterior significa que en los suelos volcánicos hay mayor respuesta a la fertilización cuando el suelo es pobre que cuando es rico en bases.

El síntesis se puede establecer que la fertilidad natural de los Typic Dystrandepts definida por la reacción del suelo y la presencia de Ca y Mg, determina en forma directa el nivel de crecimiento que se dé sobre estos suelos, e inversamente su respuesta a la fertilización; más aún se puede enfatizar en su respuesta al P, por ser este el elemento fundamentalmente crítico.

Así, las bases Ca y Mg, pese a que por ellas mismas no ocasionan problemas directos en estos suelos, juegan un papel nutricional importante. Su nivel, influenciado por el grado de madurez del suelo y la precipitación de la zona (4) determinan la fertilidad natural de estos suelos, y por lo tanto, su capacidad máxima de expresión en crecimiento.

Conclusiones

Los nueve Typic Dystrandepts estudiados son semejantes cualitativamente en el comportamiento nutricional de los cationes.

La deficiencia de K constituye posiblemente, después del P, la segunda limitación nutricional de estos suelos, y como el análisis químico no resulta eficiente en su detección, ésta debe hacerse de preferencia a través de experimentación biológica.

Las bases Ca y Mg determinan la fertilidad natural de estos suelos y la capacidad máxima de expresión en crecimiento, por lo tanto, el pH y la cantidad de bases constituyen un índice práctico de la fertilidad potencial de los suelos volcánicos. El Al intercambiable no juega un papel importante en estos suelos.

El Mn y el Zn no manifiestan problemas que trasciendan y ningún suelo presenta problemas con el Fe. Respuestas a Cu solo se presentan en forma esporádica en los suelos de la Cordillera de Guanacaste.

Las concentraciones de nutrimentos catiónicos en Typic Dystrandepts de Costa Rica oscilan, con un 90% de probabilidad estadística, en los siguientes ámbitos: Ca entre 3.2 y 11.7 meq/100 ml, Mg entre 0.9 y 3.2 meq/100 ml, K entre 0.03 y 0.83 meq/100 ml, Fe entre 27 y 104 µg/ml, Mn entre trazas y 60 µg/ml, Zn entre 1.4 y 7.0 µg/ml y Cu entre trazas y 23 µg/ml. El pH en agua fluctúa entre 5.6 y 6.2 y en KCl lo hace entre 4.9 y 5.6. La acidez intercambiable oscila entre 0.07 y 0.12 meq/100 ml.

La concentración en el tejido foliar de sorgo desarrollado en el invernadero sobre estos suelos varía para Ca entre 0.30 y 0.85%, para Mg entre 0.20 y 0.59%, para K entre 0.68 y 4.01%, para Fe entre 29 y 167 ppm, para Mn entre trazas y 237 ppm, para Zn entre 7 y 59 ppm y para Cu entre 8 y 26 ppm.

Resumen

Se estudió bajo condiciones de laboratorio e invernadero la fertilidad de nueve Typic Dystrandepts de Costa Rica. Se hicieron análisis químicos de suelo, estudios de retención de K, Mg, Mn, Zn, Cu, P, B y S, análisis foliares del tejido de plantas desarrolladas sobre los suelos sin fertilizar, y se instaló una prueba biológica en invernadero con la técnica del elemento faltante o aditivo, en macetas de un litro usando

sorgo como planta indicadora. Se siguió la metodología descrita por Díaz-Romeu y Hunter para diagnósticos cualitativos de fertilidad.

A nivel cualitativo existe semejanza en el comportamiento nutricional de los elementos catiónicos en los nueve suelos. Según la prueba biológica, después del P la deficiencia de K constituye posiblemente, la segunda limitación nutricional de estos suelos. El pH y la cantidad de bases constituyen un índice práctico de la fertilidad potencial de los suelos volcánicos, ya que los contenidos iniciales de Ca y Mg son los que determinan su fertilidad natural. El Al intercambiable no juega un papel importante en estos suelos. El Mn y el Zn no manifiestan problemas que trasciendan y ningún suelo presenta problemas con el Fe. Respuestas a Cu solo se presentan en forma esporádica en los suelos de la Cordillera de Guanacaste.

La concentración de Ca en Typic Dystrandeps de Costa Rica oscila, con un 90% de probabilidad estadística, entre 3.2 y 11.7 meq/100 ml, la de Mg entre 0.9 y 3.2 meq/100 ml, la de K entre 0.03 y 0.83 meq/100 ml, la de Fe entre 27 y 104 µg/ml, la de Mn entre trazas y 60 µg/ml, la de Zn entre 1.4 y 7.0 µg/ml y la de Cu entre trazas y 2.3 µg/ml. El pH en agua fluctúa entre 5.6 y 6.2 y el KCl lo hace entre 4.9 y 5.6. La acidez intercambiable oscila entre 0.07 y 0.12 meq/100 ml.

En el tejido foliar de sorgo desarrollado en el invernadero sobre estos suelos la concentración varía para Ca entre 0.30 y 0.85%, para Mg entre 0.20 y 0.59%, para K entre 0.68 y 4.01%, para Fe entre 29 y 167 ppm, para Mn entre trazas y 237 ppm, para Zn entre 7 y 59 ppm y para Cu entre 8 y 26 ppm.

Literatura citada

1. ARIAS, O. E. Capacidad de restitución de potasio en algunos suelos cafetaleros de Costa Rica. Tesis Ing. Agr. San José, Universidad de Costa Rica, Facultad de Agronomía, 1971. 79 p.
2. CERVANTES, C. A. Caracterización de la fracción mineral y determinación del ZPC en cuatro andepts de la provincia de Guanacaste. Tesis Ing. Agr. San José, Universidad de Costa Rica, Facultad de Agronomía, Escuela de Fitotecnia, 1977. 66 p.
3. DIAZ-ROMEU, R. y HUNTER, A. Metodología de muestreo de suelos, análisis químico de suelos y tejido vegetal e investigación en invernadero. Turrialba, Costa Rica, CATIE, 1978. 68 p.
4. EGAWA, T. Propiedades de los suelos derivados de cenizas volcánicas. In Ishizuka, Y. y Black, C. A., eds. Suelos derivados de cenizas volcánicas en Japón. México, CIMMYT, 1980. pp. 14-67.
5. IGUE, K. y FUENTES, R. Characterization of Al in volcanic ash soils. Soil Science Society of America Proceedings 36(2):292-296. 1972.
6. JONES, J. B. Plant analysis as an aid in fertilizing corn and grain sorghum. In Walsh, L. M. y Beaton, J. D., eds. Soil testing and plant analysis. Madison, Wisconsin. Soil Science Society of America, 1973. p. 359.
7. LOPEZ, H. Caracterización de la fracción mineral en cinco andepts de los cantones de Corredores y Coto Brus. Tesis Ing. Agr. San José, Universidad de Costa Rica, Facultad de Agronomía, Escuela de Fitotecnia, 1978. 51 p.
8. MARTINI, J. A. Caracterización del estado nutricional de los principales andosoles de Costa Rica mediante la técnica del elemento faltante en invernadero. Turrialba 20:72-84. 1970.
9. MENDEZ, L. F. Clasificación y caracterización de cinco andepts de la cordillera volcánica de Guanacaste. Tesis Ing. Agr. San José, Universidad de Costa Rica, Facultad de Agronomía, Escuela de Fitotecnia, 1977. 55 p.
10. PALENCIA, J. A. y MARTINI, J. A. Características morfológicas, físicas y químicas de algunos suelos derivados de cenizas volcánicas en Centroamérica. Turrialba 20(3):325-332. 1970.
11. SUAREZ, A. Caracterización del estado del potasio en tres grandes grupos de suelos de Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica. IICA-CEI, 1968. 305 p.
12. STEEL, R. G. D. y TORRIE, J. H. Principles and procedures of statistics, with special reference to the biological sciences. New York, McGraw Hill, 1960. 481 p.
13. STICHER, R. Potassium in allophane and in zeolites. In Colloquium of the International Potash Institute. 9th. Landshut, Germany, Potassium in soil. Berne, 1972. pp. 43-51.
14. TANAKA, A. Problemas nutricionales y el uso de fertilizantes. In Ishizuka, Y. y Black, C. A., eds. Suelos derivados de cenizas volcánicas en Japón. México, CIMMYT, 1980. pp. 89-106.

Reseña de libros

BURTON, W. G. *The Potato. A survey of its history and of factors influencing its yield, nutritive value, quality and storage*. Segunda edición. H. Veenman & Zonan B. V., Wageningen, Holanda. 1966. 382 p. (completamente revisada).

El libro señala en primer lugar la importancia de la papa alimento, que sigue a nivel mundial a los cereales. Al indicar la distribución de la producción de papas y su consumo *per capita*, señala especialmente a Chile, Perú y Ecuador, donde las cifras dadas incluirían otros cultivos tuberosos, como batata. Este es un error pues Chile difícilmente cultiva más de 200 ha con batata. Podría ser efectivo para Perú y Ecuador donde si se cultiva la batata y yuca.

Burton adopta para las papas cultivadas la designación general de Dodds (1962) de *Solanum tuberosum*, que reconoce cinco grupos de acuerdo a su grado de ploidía y por caracteres morfológicos y fisiológicos. Estos son: *Stenotomum* y *Pluveja* (diploides); *Chaucha* (triploide); *Andigena* y *Tuberosum* (tetraploides). Agrega Burton, grupo chileno (tetraploides cultivados en Chile) y es la nomenclatura que usa en su texto.

Se hace una historia detallada de la introducción de la papa en Europa, en especial, en Gran Bretaña.

Respecto a variedades, se señala una descripción de las diversas partes de la planta, se recalca el principio de la pureza varietal y se describen las principales variedades inglesas. En la sección sobre efecto del clima, suelo, largo del período vegetativo y translocación se presentan interesantes conclusiones obtenidas por diferentes investigadores, como el mismo Burton, Borah y Milthorpe, Bodlaender, etc., trabajos muy adecuados a las regiones templadas — que en el caso nuestro pudieran servir a Argentina y Chile, pero que no siempre son válidas en las regiones de la franja tropical, donde el período de iluminación es corto 11 y

1/2 a 12 y 1/2 horas y las temperaturas van de 10°C en las partes altas a 25°C en las partes bajas (caso Venezuela), existiendo también casi permanentemente un cielo nublado cubierto.

Los capítulos sobre abonamiento, efecto de las enfermedades y plagas en el rendimiento y “semilla” y plantación, están muy documentados y sus recomendaciones son una guía parcial (debido a la falta de la gran información producida en los últimos 20 años), para los diversos tipos de explotaciones paperas, ya sea en el trópico — donde está nuestro mayor interés — o en las regiones templadas.

Sobre composición química, valor nutritivo y calidad culinaria de los tubérculos hay una documentada revisión. Es interesante la sección sobre fisiología de postcosecha y almacenamiento, ya que este es un vacío de conocimientos en Latinoamérica y es junto con las enfermedades, la principal causa de deterioro de las cosechas en los diversos países. El texto hace una clara distinción entre almacenamiento para “papa-semilla” y “papa-consumo” y señala resultados de investigaciones a diversas temperaturas con la evolución de los almidones y los azúcares.

El texto, en general, es una muy buena revisión de los aspectos fisiológicos de la papa, tema en el cual el autor es una autoridad de renombre mundial.

Este libro es de valor para investigadores en Europa y en regiones templadas, hacia quienes debe, posiblemente, haber estado dirigido.

La literatura revisada es amplísima pero, como ya se señaló, sólo abarca hasta 1964, e incluye un 56% de autores de Gran Bretaña, 20% de Europa y 25% de Estados Unidos y Canadá. Latinoamérica tiene ya más de 40 años de trabajos de investigación en papa, en un medio ecológico totalmente diferente, pero se ve que aún no tiene valor para los investigadores de los países desarrollados.

ALVARO MONTALDO
FACULTAD DE AGRONOMIA
MARACAY, VENEZUELA