

POTASIO EN ANDEPTS DE COSTA RICA. II. RESPUESTA A LA FERTILIZACION CON P Y K EN INVERNADERO¹ /

E. MOLINA*, A. CORDERO**, F. BERTSCH*

Summary

Three soils from the Guanacaste volcanic range (NW) and three from the Agua Buena-Paso Canoas region (SW) of Costa Rica were selected in order to study the response of sorghum to P and K fertilization in the greenhouse. Soil analyses and nutrient sorption curves were prepared prior to setting up a greenhouse experiment of 12 treatments in a factorial arrangement with three doses of P and four of K in each soil. Three consecutive sorghum plantings were made, each harvested four weeks after germination.

High P retention was found, ranging from 74 to 93%. SW Costa Rican soils retained more P (91%) than those from the NW (79%). Retention of more than 85% applied P correlated with a PH of 10.7 for NaF. All soils responded to the maximum P dose in all three harvests.

A response to K was noted from the first harvest in soils deficient in available K (Arenal in the NW, Sabalito and Paso Canoas in the SW) and for the third harvest in the Andepts with a medium P content (Bijagua in the NW, Agua Buena in the SW). The initial available K in the soils correlated positively with sorghum yield, absorbed K and foliar K of the optimum treatment without K. Results show that a modified Olsen solution was effective in predicting the response to K. The P and K interaction was significant beginning with the first harvest in K deficient soils, but not until the third harvest in the other soils.

Introducción

Los suelos derivados de cenizas volcánicas (Andepts), ocupan buena parte de las tierras agrícolas de Costa Rica. Se utilizan en cultivos tan importantes como caña de azúcar, café, hortalizas y pastos para ganadería de leche. Estos suelos se caracterizan por tener un comportamiento nutricional muy particular, como por ejemplo la alta fijación de fosfatos, la deficiente mineralización de la abundante materia orgánica presente y el eminente lavado de bases.

La adsorción de P en Andepts es extremadamente alta lo que resulta en una baja disponibilidad en los suelos y causa a menudo deficiencias de P para los cultivos (11, 13, 14). Se ha reconocido que el aluminio y el hierro amorfos son los principales componentes que reaccionan con los fosfatos produciendo una alta fijación de P (14).

La respuesta de K en Andepts de Costa Rica es poco frecuente, y se ha encontrado principalmente en suelos fuera del Valle Central. Es muy posible que el cultivo intensivo de la tierra y las altas aplicaciones de fosfatos que normalmente se hacen en estos suelos para corregir este factor limitante, puedan inducir deficiencias de K.

Debido que la retención de K por la alofana es muy escasa y la lixiviación de este catión es un problema serio, con frecuencia se requieren aplicaciones de fertilizantes potásicos para obtener buenos rendimientos en Andepts (4, 13, 26).

¹ Recibido para publicación el 10 de mayo de 1986. Parte de la tesis de Ing. Agr. presentada por el primer autor a la Escuela de Fitotecnia de la Universidad de Costa Rica, y financiada por la Vicerrectoría de Investigación.

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

** IDIAP, Santiago, Veraguas, Panamá

En un trabajo reciente llevado a cabo en suelos volcánicos fuera del Valle Central y utilizando la técnica del elemento faltante en invernadero se encontró respuesta al P y al K (4, 5). Con base en esos resultados y los comentarios anteriores, se propuso el presente estudio con el objeto de evaluar el efecto de la fertilización con P y K sobre el rendimiento del sorgo en invernadero en *Andepts* de Guanacaste y de la Zona Sur de Costa Rica

Materiales y métodos

Se escogieron seis suelos volcánicos, de los cuales tres correspondieron a la Cordillera Volcánica de Guanacaste: Arenal, Bijagua y Dos Ríos; y tres a la Zona Sur: Sabalito, Agua Buena y Paso Canoas. Las características climáticas y de elevación de los sitios muestreados se detallan en la primera parte de este trabajo (21). Los suelos de Guanacaste se formaron a partir de cenizas riolíticas y andesíticas del Cuaternario (20). Los de la Zona Sur se originaron de rocas volcánicas y sedimentarias del Terciario, que han sido rejuvenecidas por el volcán Barú, ubicado en Panamá (15). De acuerdo con Cervantes (7), Méndez (20) y López (15), los suelos clasifican como *Typic Dystrandept* y se encuentran bajo vegetación de pastos. Las muestras se tomaron a una profundidad de 0 a 20 cm, se secaron al aire y se pasaron por una criba de 2 mm.

Análisis químico de los suelos

Los análisis de los seis suelos se realizaron según la metodología propuesta por Díaz-Romeu y Hunter (9). El P, K, Cu, Mn, Fe y Zn se extrajo con la solución Olsen modificada (NaHCO_3 0.5 N, EDTA 0.01 M), en una relación suelo solución de 1:10. El P se determinó por colorimetría, el K por fotometría de llama y los micronutrientes por absorción atómica.

El Ca, Mg y acidez intercambiable se extrajeron con KCl 1 N, relación 1:10. Las bases se determinaron por absorción atómica y la acidez por titulación con NaOH 0.01 N en presencia de fenofaleína.

El S y el B se extrajeron con una solución de $\text{CaH}_4(\text{PO}_4)_2$, en una proporción de 10 ml de suelo y 25 ml de solución extractora. El S se determinó por turbidimetría, y el B por colorimetría usando curcumina.

El pH se midió potenciométricamente en H_2O y KCl 1 N en una relación 10:25 y también en NaF 1 M utilizando 1 g de suelo y 50 ml de solución (3).

La determinación de la materia orgánica se realizó por el método de digestión húmeda de Walkley y Black, y la textura por Bouyoucos (6).

Curvas de retención de nutrimentos

Se hicieron curvas de retención para P, K, S, Mn, Zn y Cu. Estas curvas consisten en la incubación del suelo con soluciones de concentraciones crecientes del elemento deseado, hasta el secado. Posteriormente, al extraer del suelo la concentración disponible del elemento correspondiente a cada concentración agregada, se puede conocer lo que se retiene y por lo tanto, la cantidad que hay que adicionar para extraer tres veces el nivel crítico que es el fijado para estudios de invernadero. Este procedimiento está apoyado en la metodología de Díaz-Romeu y Hunter (9).

Ensayo de invernadero

Consistió en el establecimiento de 12 tratamientos, producto de la combinación de tres dosis de P con cuatro de K en cinco de los suelos, y seis tratamientos (tres dosis de P y dos de K) en el suelo Dos Ríos. Las dosis de P y K se definieron a partir de un óptimo de fertilización, basado en la cantidad a agregar de P o K a un suelo para obtener en solución tres veces el nivel crítico, de acuerdo a las curvas de retención. Las tres dosis de P fueron cero, uno y dos veces el óptimo; y las cuatro de K: cero, la mitad, una vez y uno y medio veces el óptimo. En el caso del suelo Dos Ríos sólo se hicieron dos tratamientos de K: sin K y 0.2 cmol de K por litro de suelo. En el Cuadro 1 se muestran las cantidades de P y K añadidas de acuerdo con sus dosis para todos los suelos.

Todos los tratamientos recibieron una base de fertilización que se estableció adicionando las cantidades indicadas por las curvas de retención para S, Zn, Mn y Cu. El Ca y el Mg se añadieron hasta alcanzar los niveles críticos y optimizar las relaciones Ca-Mg-K. El N se incluyó en forma uniforme para todos los suelos y 50 mg L^{-1} en el agua de riego. El B y el Mo también se agregaron uniformemente a todos los suelos. No se agregó Fe debido a que se encontró en suficiente cantidad de todos los suelos. Las concentraciones adicionadas de los diferentes elementos se resumen en el Cuadro 2.

Se usó sorgo forrajero var. TR-171, (*Sorghum vulgare* L.) como planta indicadora, en un volumen de 800 ml de suelo y 16 plantas por maceta. Se realizaron tres siembras sucesivas cosechando cada una cuatro semanas después de la germinación. A las plantas se les midió la altura, se cortaron 1 cm por encima de la superficie del suelo, se pusieron a secar en una estufa a 70°C y se les determinó el peso seco. Después de cada cosecha se procedió a sacar las raíces en cada maceta. Se realizaron análisis foliares para P y K en cada cosecha por el método de combustión seca (6).

Cuadro 1. Cantidades agregadas a los suelos correspondientes a las dosis de P y K.

Suelo	mg L. ⁻¹			cmol (+) L. ⁻¹			
	P ₀	P ₁	P ₂	K ₀	K ₁	K ₂	K ₃
Arenal	0	200	400	0	0.25	0.50	0.75
Bijagua	0	225	450	0	0.25	0.50	0.75
Dos Ríos	0	150	300	0	0.20	—	—
Sabalito	0	475	950	0	0.50	1.00	1.50
Agua Buena	0	350	700	0	0.25	0.50	0.75
Paso Canoas	0	325	650	0	0.40	0.80	1.20

Cuadro 2. Cantidades agregadas como fertilización base a los seis suelos.

Suelo	cmol (+) L. ⁻¹			mg L. ⁻¹						
	Ca	Mg	N	S	B	Zn	Mn	Cu	Fe	Mo
Arenal	1.21	0.88	50	150	2	5	45	—	—	2
Bijagua	0.60	0.44	50	150	2	9	51	—	—	2
Dos Ríos	—	—	50	60	2	—	60	—	—	2
Sabalito	2.66	0.88	50	180	2	8	15	—	—	2
Agua Buena	—	0.19	50	90	2	8	60	—	—	2
Paso Canoas	—	0.44	50	150	2	8	21	—	—	2

El diseño experimental consistió de Bloque Completo al Azar con cuatro repeticiones, los tratamientos se combinaron en un arreglo factorial de 3 x 4, con tres dosis de P y cuatro de K.

Resultados y discusión

En el Cuadro 3 se presentan los resultados del análisis químico y textural de los suelos en su estado natural

La reacción del suelo en agua fue superior a 5.0 y la acidez o aluminio intercambiable, con excepción del suelo Sabalito, fue muy baja, lo que coincide con lo informado en otros *Andepts* de Costa Rica (2, 4, 16, 23). El pH en NaF fue más alto en los suelos de la región sur lo que indica la presencia de mayores contenidos de minerales amorfos

Las bases se presentaron en cantidades proporcionales, más Ca, luego Mg y por último K (4), y sus porcentajes de saturación siempre fueron altos. El Ca y el Mg aparecieron deficientes en los suelos Arenal y Sabalito, mientras que el K disponible fue bajo principalmente en los suelos de la Zona Sur, presentándose deficiente en Arenal, Sabalito y Paso Canoas

Como era de esperar, los contenidos de P fueron extremadamente deficientes. La presencia de minerales amorfos es la principal responsable de la alta retención de fosfatos en *Andepts*, disminuyendo la disponibilidad de P para las plantas (3, 4)

El S se encontró por debajo del nivel crítico en casi todos los suelos. Como anión que es, puede ser adsorbido por la alofana, aunque en menor magnitud que el P (5)

No se presentaron problemas de B, Fe y Cu. El Mn y el Zn, aunque por lo general no fueron deficientes, estuvieron bajos.

Los contenidos de materia orgánica fluctuaron entre 6.6 y 15.5%. Estos altos valores están asociados con la presencia de alofana y aluminio amorfo que reaccionan con la materia orgánica formando complejos de difícil mineralización (10, 16, 18)

Cinco de los suelos presentaron textura franco-arenosa y uno, el de Sabalito, clasificó como arena franca. La predominancia de fracciones gruesas (arena y limo) es producto de la relativa juventud de estos suelos (23) y de la continua deposición de cenizas frescas originada por un vulcanismo activo (18)

Cuadro 3. Análisis inicial de los seis Andepts.

Suelo	Textura	pH			cmol (+) L ⁻¹					mg L ⁻¹					%	
		KCl	H ₂ O	NaF ¹	K	Ca	Mg	Al ²	P	Cu	Fe	Mn	Zn	S	B	M O
Arenal	Franco Arenoso	4.9	5.9	10.6	0.12	2.79	0.62	0.4	1	10	153	2	3	9.5	1.2	6.65
Bijagua	Franco Arenoso	5.0	6.0	10.5	0.41	9.37	1.18	0.3	4	8	53	8	4	14.0	0.8	8.55
Dos Ríos	Franco Arenoso	4.7	6.0	9.2	1.32	9.79	2.08	0.2	2	13	87	13	7	6.5	0.6	7.54
Sabalito	Arena Franca	4.8	6.0	11.2	0.11	1.34	0.62	0.6	1	12	30	10	4	3.5	1.2	12.53
Agua Buena	Franco Arenoso	5.3	6.5	11.1	0.33	9.95	1.56	0.2	2	10	53	9	4	6.0	1.0	13.53
Paso Canoas	Franco Arenoso	5.2	6.2	11.4	0.12	7.71	1.04	0.2	2	4	60	4	3	7.0	1.8	15.51

1 pH en NaF después de dos minutos.

2 Acidez intercambiable

El suelo Dos Ríos posee características muy particulares. Presentó el pH en NaF y la retención de P más bajas, y las más alta fijación de K con 24% (21). Además es rico en bases, está muy alto en K, y es el suelo que tiene el régimen de humedad más seco (21), lo cual podría haber estimulado la cristalización de los minerales amorfos, y por ende, la formación de arcillas 2:1 que fijan K. Es probable que este suelo corresponda más bien a un Eutraandept en lugar de un Dystrandept.

Comportamiento del P

La retención de P se manifestó con gran intensidad en los suelos bajo estudio. Las curvas de sorción de P para los seis suelos (elaboradas de acuerdo con la metodología de Díaz-Romeu y Hunter (9)), se aprecian en la Fig. 1.

Para extraer 36 mg L⁻¹ de P (tres veces el nivel crítico de 12 mg L⁻¹) se requirieron entre 155 y

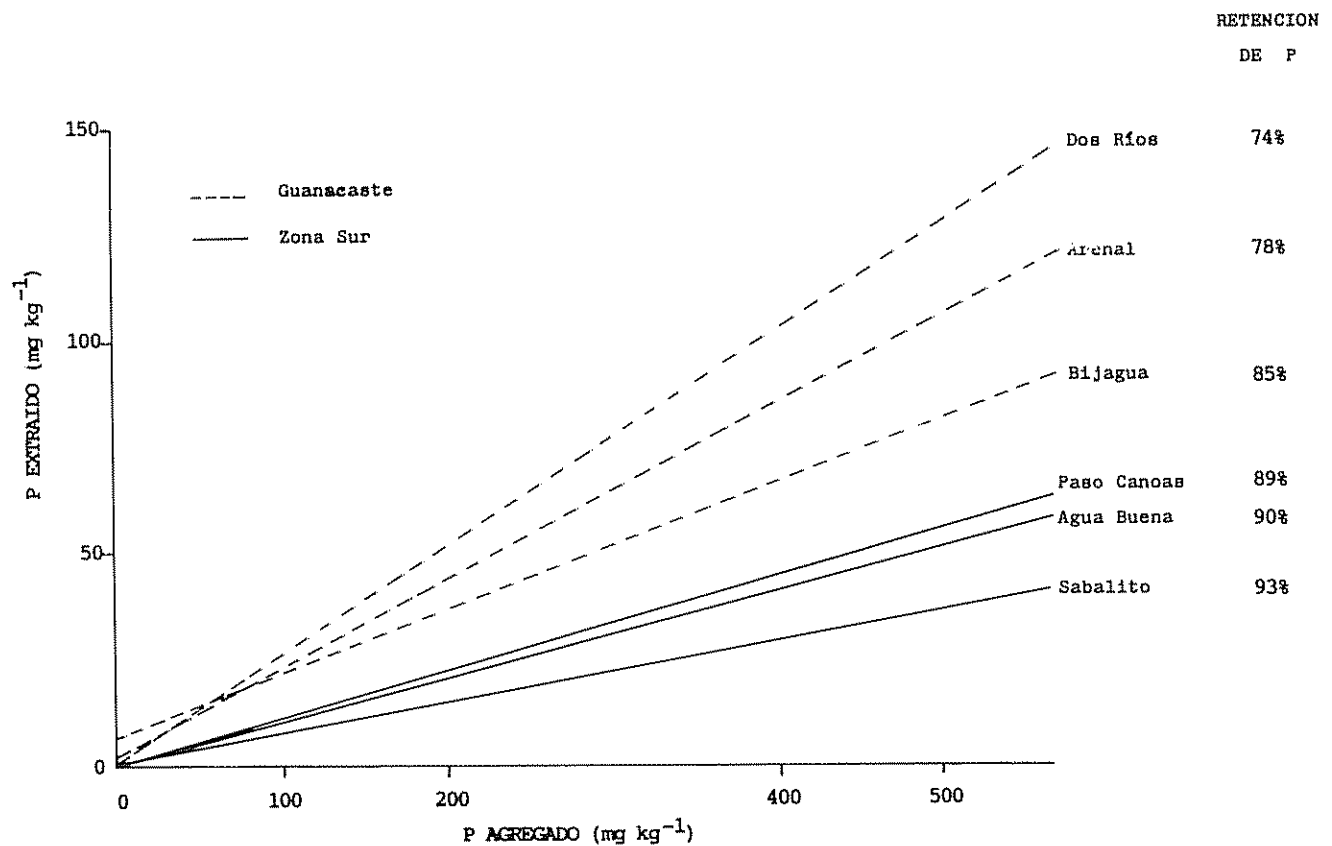


Fig. 1. Curvas de retención de P en seis Andepts de Costa Rica

478 mg L⁻¹ de P, lo que representa una retención de 74 a 93%. La gran reactividad de los materiales amorfos hacia los iones fosfato es la causa principal que se fijen grandes cantidades de P en **Andepts** (3, 11, 22). En promedio la retención de P en los seis suelos fue de 85%. Resultados similares han sido encontrados por Fassbender (12) en otros **Andepts** de Costa Rica. Los porcentajes de retención de P fueron calculados utilizando la pendiente de las ecuaciones de regresión lineal de cada suelo, de acuerdo con la fórmula: % retención = 100 (1-pendiente) (3).

Los suelos de la Zona Sur: Sabalito, Agua Buena y Paso Canoas, presentaron los más altos valores de retención de P, con un promedio de 91%, en contraste con los **Andepts** de Guanacaste, con un 79% de fijación. Esto podría explicarse debido a la presencia de mayores contenidos de alofana en los suelos de la región sur, por existir en ellos un régimen de humedad más údico, sin un período seco muy intenso ni definido, que estimule la cristalización del mineral amorfo.

El P retenido correlacionó en forma significativa al 5% con el pH en NaF (Fig. 2). Alvarado y Buol (3) han señalado que un pH en NaF mayor de 10.7 se relacionó con una retención de más de 90% del P aplicado en 59 suelos volcánicos de Guatemala y Costa Rica. En los **Andepts** bajo estudio, la retención de P a este mismo pH fue de 85%, valor muy similar si se toma en cuenta que sólo se usaron seis suelos.

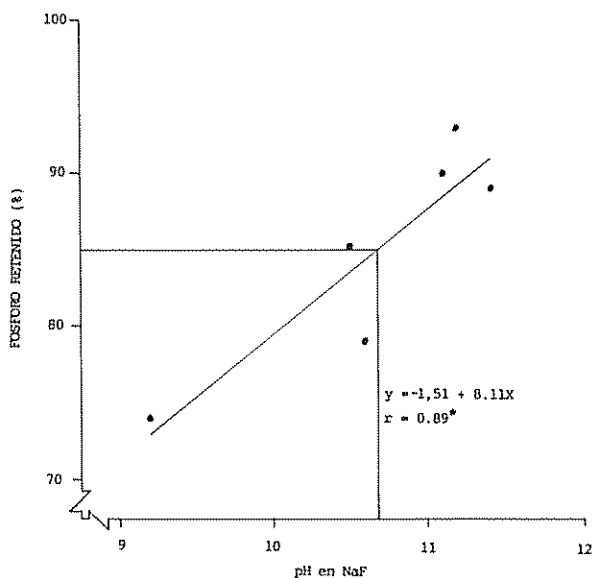


Fig. 2 Relación entre la retención de P y el pH en NaF en seis **Andepts** de Costa Rica

En términos biológicos la respuesta al P, usando la variable peso seco, fue evidente en todos los suelos y cosechas (Fig. 3), lo cual concuerda con la severa deficiencia de P determinada en el análisis de suelos.

La respuesta al P no es nada nueva en **Andepts**, pues es conocido que este elemento es el más limitante desde el punto de vista nutricional. En Costa Rica son numerosos los informes acerca de la respuesta al P en suelos volcánicos (2, 5, 11, 17, 24), debido a la alta retención de fosfatos por los minerales amorfos y los bajos contenidos de P disponible hallados (11).

El rendimiento del sorgo disminuyó drásticamente en todos los suelos después de la primera cosecha (Fig. 3), lo cual indica el escaso poder residual del P en estos suelos (10). En la cosecha tres hubo un ligero incremento con relación a la cosecha dos debido a que antes de sembrar por tercera vez, se realizó una fertilización extra con P, agregando un 25% más de la

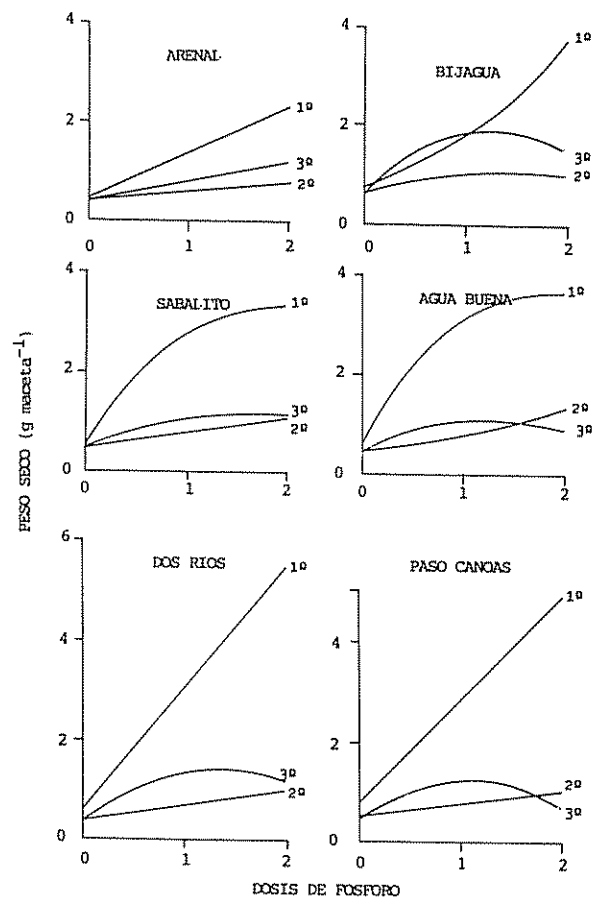


Fig. 3 Respuesta del sorgo a la fertilización fosfórica durante las tres cosechas de sorgo en los suelos

Cuadro 4. Porcentaje de rendimiento relativo del tratamiento completo sin P con respecto al tratamiento completo en los suelos estudiados.

Suelo	Rendimiento relativo %			
	Cosecha			
	1	2	3	1 + 2 + 3
Arenal	26	68	48	39
Bijagua	34	60	33	39
Dos Ríos	23	86	46	36
Sabalito	20	61	27	30
Agua Buena	16	51	35	26
Paso Canoas	24	65	26	31

dosis que se adicionó en la primera siembra, esto con el objeto de asegurar al menos una cosecha más de sorgo, para un estudio posterior de restitución de K.

Para la elaboración de las curvas de la Fig. 3 se utilizaron las regresiones lineales y cuadráticas de acuerdo con el modelo que mejor ajustara en cada caso. En los suelos Bijagua, Sabalito y Agua Buena, el modelo cuadrático ajustó mejor, y el modelo lineal en el suelo Arenal. En Dos Ríos y Paso Canoas, la respuesta fue lineal en la primera y segunda cosecha, y cuadrática en la tercera.

Los resultados del peso seco se analizaron también como porcentaje de rendimiento relativo (% RR). Este método es muy útil porque permite reducir considerablemente la variabilidad entre los suelos. En el Cuadro 4 se presenta el % RR del tratamiento óptimo sin P con respecto al tratamiento óptimo en cada suelo. Los suelos de la Zona Sur, con mayores porcentajes de retención de P, presentaron el menor rendimiento relativo (29% en promedio), para el tratamiento sin P en comparación con los suelos de Guanacaste (39%).

En promedio para las tres cosechas el rendimiento relativo para el tratamiento completo sin P estuvo por debajo de 40% en todos los suelos, lo que de acuerdo con Schenkel (25) se cataloga como "deficiencia muy grave".

La concentración de P foliar aumentó con la dosis de P agregada en todos los suelos y cosechas, oscilando entre 0.05 y 0.08% para la dosis cero, entre 0.07 y 0.25% para la dosis uno y entre 0.09 y 0.28% para la dosis dos.

Comportamiento del potasio

La respuesta al K fue significativa desde la primera cosecha en los suelos Arenal, Sabalito, y Paso Canoas

(Cuadro 5), que presentaron contenidos de K disponible en Olsen por debajo del nivel crítico de $0.2 \text{ cmol (+) L}^{-1}$. Este comportamiento se mantuvo también en las otras dos cosechas. En los suelos Bijagua y Agua Buena, con 0.41 y $0.33 \text{ cmol (+) L}^{-1}$ de K en Olsen, respectivamente, no hubo respuesta al K en las dos primeras cosechas, pero comenzó a mostrarse en la tercera cosecha. En el suelo Dos Ríos, con $1.32 \text{ cmol (+) L}^{-1}$ de K disponible, la aplicación del nutrimento tuvo efecto negativo en el rendimiento en la primera cosecha y en las otras dos no fue significativa.

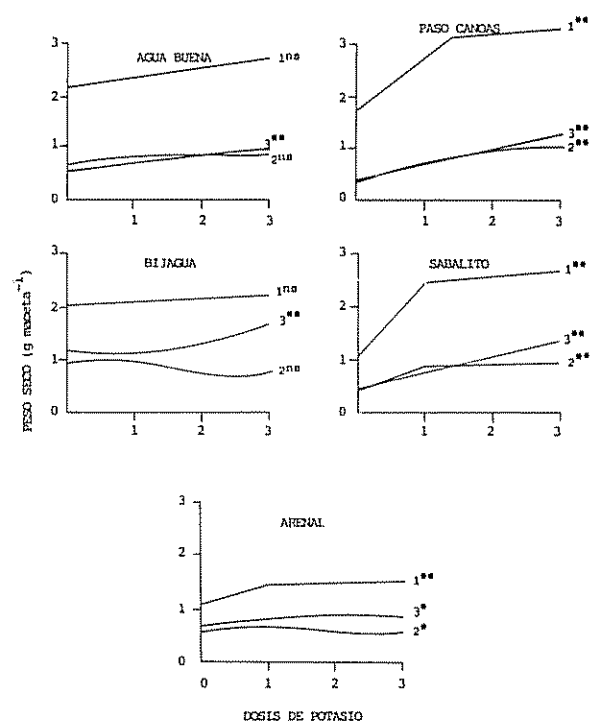


Fig. 4. Respuesta del sorgo a la fertilización potásica durante las tres cosechas de sorgo en los suelos estudiados.

Cuadro 5. Resumen de la respuesta encontrada al K en los suelos de acuerdo con los ANDEVAS de la variable peso seco.

Suelo	Cosecha			
	1	2	3	1 + 2 + 3
Arenal	*	*	**	**
Bijagua	ns	ns	**	**
Dos Ríos	—*	ns	ns	ns
Sabalito	**	**	**	**
Agua Buena	ns	ns	**	**
Paso Canoas	**	**	**	**

ns = no significativo.
 * = significativo al 5%
 ** = significativo al 1%

En la Fig 4 se observa el rendimiento del sorgo con relación a la dosis de K aplicada para los suelos Arenal, Bijagua, Sabalito, Agua Buena y Paso Canoas

La respuesta al K fue altamente significativa en las tres cosechas de los suelos Arenal, Sabalito y Paso Canoas. De acuerdo con el modelo de regresión de mejor ajuste, en la primera cosecha el efecto respecto a la dosis fue lineal potencial en estos suelos. La diferencia entre el tratamiento sin K y las otras dosis fue muy amplia, sin embargo hubo una tendencia a no aumentar mucho el rendimiento después de la dosis uno. Este comportamiento se mantuvo en la cosecha dos. El efecto residual de las dosis más altas de K causó que la respuesta al nutrimento se linealizara en la última cosecha, principalmente en los suelos Sabalito y Paso Canoas.

El K no tuvo efecto en el rendimiento de las dos primeras cosechas de los suelos Bijagua y Agua Buena, debido a que el contenido inicial de K disponible estaba por encima del nivel crítico. Sin embargo, al agotarse parte del K en el suelo después de dos cosechas sucesivas, las plantas respondieron a la fertilización residual, manifestándose un efecto cuadrático al K en ambos suelos.

La aplicación de K aumentó el contenido foliar de este nutrimento en el sorgo en todos los suelos, y a medida que se incrementó el número de cosechas hubo una disminución progresiva del K foliar. Los suelos deficientes en K disponible: Arenal, Sabalito y Paso Canoas, presentaron menos del nivel crítico de 2% de K foliar en los tratamientos con dosis cero de K. La aplicación más baja de K incrementó los valores por encima de 2%, lo que confirma una vez más la respuesta hallada al nutrimento en la prueba biológica. Se observaron síntomas de deficiencia de K (clorosis en bordes de las hojas más viejas seguida de necro-

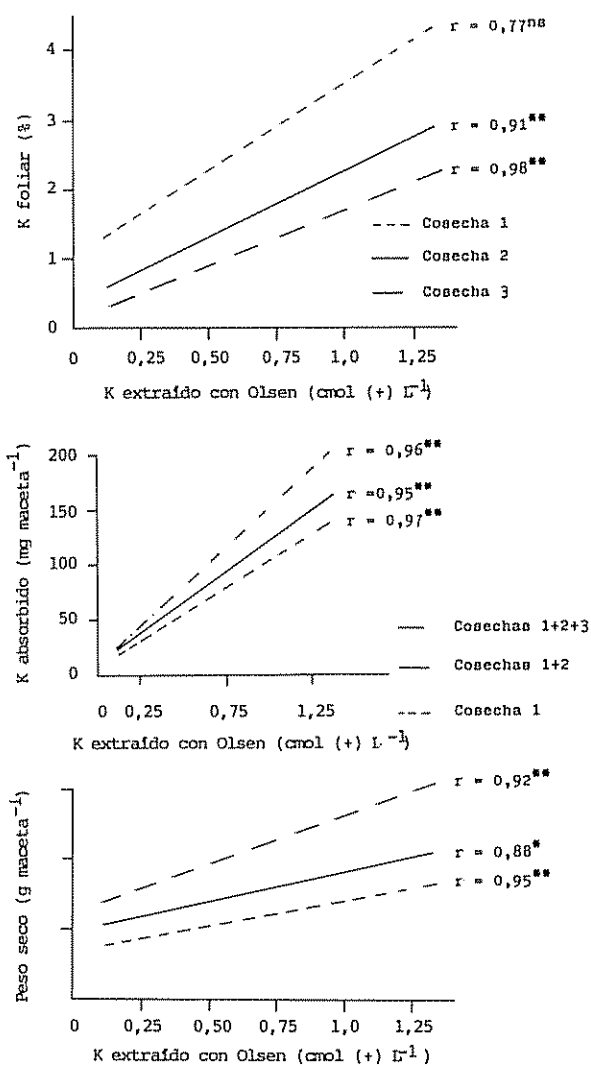


Fig 5 Relación entre el peso seco, K absorbido y K foliar del tratamiento completo sin K (1-0) en las tres cosechas y el K extraído con Olsen antes del cultivo en los suelos

sis), en plantas de sorgo con menos de 0.7% de K foliar. Resultados similares fueron encontrados por Chandler *et al.* (8) en trébol blanco y por Abruña (1) en pastos

Los resultados demuestran que existe una clara respuesta al K en **Andepts** alejados del Valle Central, confirmando lo encontrado por Bertsch, Cordero y Alvarado (4) y contradiciendo los conceptos emitidos acerca del comportamiento general de este nutriente en suelos volcánicos de Costa Rica (17, 18, 19)

En la Fig. 5 se aprecia la correlación hallada entre el K disponible inicialmente en los seis suelos y el rendimiento del sorgo, el K absorbido y el K foliar del tratamiento óptimo sin K (1-0) en las tres cosechas. Esto demuestra que la solución extractora Olsen modificada fue eficaz para determinar la respuesta al nutriente, lo cual no siempre ocurre en estos suelos (4, 19, 24)

Interacción entre P y K

La interacción P x K fue significativa en todas las cosechas de los suelos Arenal, Sabalito y Paso Canoas, que se encontraban deficientes en K disponible (Cuadro 6). En los suelos con contenidos medios de K, Bijagua y Agua Buena, la interacción se presentó en la tercera cosecha para el primer suelo y en la suma de las tres cosechas para ambos suelos. Mientras que en el suelo Dos Ríos no hubo efecto de la interacción P x K. Estos resultados concuerdan con la respuesta encontrada individualmente al P y K en los suelos.

En todos los tratamientos en los que no se agregó P, la aplicación de K no aumentó el rendimiento, ni aún en los suelos deficientes en K. Esto ratifica que el P es prioritario en la nutrición mineral de los suelos volcánicos y debe resolverse su deficiencia antes que cualquiera otra (5)

La combinación de tratamientos que produjo los rendimientos más altos en los suelos Arenal, Sabalito y Paso Canoas fue la dosis dos de P con la dosis uno de K (2-1), durante las dos primeras cosechas, y el tratamiento 2-2 para la suma de las tres cosechas (Cuadro 7). En Bijagua y Agua Buena el tratamiento 2-0 en las dos primeras cosechas y el 2-2 en las tres cosechas fueron los mejores. En el suelo Dos Ríos, el mejor tratamiento fue la dosis dos de P sin K (2-0)

Conclusiones

La retención de P, como era de esperar en **Andepts**, fue alta, oscilando entre 74 y 93%. Los suelos de la Zona Sur fijaron más P que los suelos de la Cordillera Volcánica de Guanacaste, lo que se atribuye a un mayor contenido de alofana.

La retención de más de 85% de P correlacionó con un pH de 10.7 en NaF.

La alta fijación de fosfatos explica que todos los suelos respondieron a la dosis máxima de P en las tres cosechas y que el efecto residual del P aplicado fuera muy bajo.

Los suelos deficientes en K: Arenal, Sabalito y Paso Canoas, respondieron al K desde la primera cosecha. En los suelos Bijagua y Agua Buena, con contenidos medios de K, el efecto del nutriente fue significativo hasta la tercera cosecha. No hubo respuesta en el suelo Dos Ríos con alta cantidad de K disponible.

El K disponible correlacionó con el rendimiento, el K absorbido y el K foliar, lo que prueba que la solución Olsen modificada fue eficaz para determinar problemas de K.

La interacción P x K se presentó desde la primera cosecha en los suelos que respondieron al K. El trata-

Cuadro 6. Resumen de la respuesta encontrada a la interacción P x K con la variable peso seco en los suelos.

Suelo	Cosecha			
	1	2	3	1 + 2 + 3
Arenal	**	**	**	**
Bijagua	ns	ns	**	**
Dos Ríos	ns	ns	ns	ns
Sabalito	**	**	**	**
Agua Buena	ns	ns	ns	*
Paso Canoas	**	**	**	**

ns = efecto no significativo.
* = efecto significativo al 5%
** = efecto significativo al 1%

Cuadro 7. Combinación de dosis de P y K que produjeron el mejor rendimiento en los suelos después de dos y tres cosechas de sorgo.

Suelos	2 Cosechas			3 Cosechas		
	Tratamiento	P	K	Tratamiento	P	K
		mg L ⁻¹			mg L ⁻¹	
Arenal	2-1	400	98	2-2	400	196
Bijagua	2-0	450	0	2-2	450	196
Dos Ríos	2-0	300	0	2-0	300	0
Sabalito	2-1	950	196	2-2	950	390
Agua Buena	2-0	700	0	2-2	700	196
Paso Canoas	2-1	650	156	2-2	650	312

miento 2-2 fue el mejor en los suelos Arenal, Bijagua, Sabalito, Agua Buena y Paso Canoas, y el 2-0 en Dos Ríos, para producir tres cosechas.

Resumen

Se escogieron tres *Andepts* de la Cordillera Volcánica de Guanacaste y tres de la Zona Sur, con el objeto de investigar la respuesta del sorgo en invernadero a la fertilización con P y K. Se hicieron análisis iniciales de los suelos y curvas de sorción de nutrimentos para montar una prueba biológica en invernadero con 12 tratamientos consistentes en un arreglo factorial de tres dosis de P con cuatro de K en cada suelo. Se realizaron tres siembras sucesivas de sorgo, cosechando las plantas cuatro semanas después de la germinación.

Se encontró alta retención de P, oscilando entre 74 y 93%. Los suelos de la Zona Sur (91%) fijaron más P que los de Guanacaste (79%). La retención de más de 85% de P aplicado correlacionó con un pH en NaF de 10.7. Todos los suelos respondieron a la dosis máxima de P en las tres cosechas.

La respuesta al K se presentó desde la primera cosecha en los suelos deficientes en K disponible (Arenal, Sabalito, Paso Canoas) y a partir de la tercera cosecha en los *Andepts* con contenidos medios de K (Bijagua y Agua Buena). El K disponible inicialmente en el suelo correlacionó con el rendimiento del sorgo, el K absorbido y el K foliar del tratamiento óptimo sin K. Los resultados demuestran que la solución Olsen modificada fue efectiva para predecir la respuesta al K. La interacción P x K fue significativa en los suelos deficientes en K desde la primera cosecha y en los otros suelos hasta la tercera cosecha.

Literatura citada

1. ABRUÑA, F. *et al.* 1976. Potassium supplying power of the major Ultisols and Oxisols of Puerto Rico. *The Journal of Agriculture of University of Puerto Rico* 60(1):45-60.
2. ALVARADO, A. 1975. Fertilidad de algunos *Andepts* dedicados a potreros en Costa Rica. *Turrialba* 25(3):265-270.
3. ALVARADO, A.; BUOL, S.W. 1985. Field estimation of phosphate retention by *Andepts*. *Soil Science Society of America Journal* 49(4):911-914.
4. BERTSCH, F.; CORDERO, A.; ALVARADO, A. 1984. Fertilidad de Typic Dystrandeps de Costa Rica. I. Metodología, acidez y cationes (Ca, Mg, K, Mn, Zn y Cu). *Turrialba* 34(2):187-197.
5. BERTSCH, F.; CORDERO, A.; ALVARADO, A. 1984. Fertilidad de Typic Dystrandeps de Costa Rica. II. Aniones (N, B, S, y Mo), materia orgánica y textura. *Turrialba* 34(2):199-205.
6. BRICEÑO, J.; PACHECO, R. 1984. Métodos analíticos para el estudio de suelos y plantas. San José, Editorial Universidad de Costa Rica. 152 p.
7. CERVANTES, C.A. 1977. Caracterización de la fracción mineral y determinación de ZPC en cuatro *Andepts* de la provincia de Guanacaste. Tesis Ing. Agr. San José, Costa Rica. Universidad, Facultad de Agronomía, Escuela de Fitotecnia. 66 p.

8. CHANDLER, R F ; PEECH, M.; CHANG, C W 1945. The release of exchangeable and non-exchangeable potassium from different soils upon cropping *Agronomy Journal* 37:709-721
9. DIAZ-ROMEU, R ; HUNTER, A 1978 Metodología de muestreo de suelos, análisis químico de suelo y tejido vegetal e investigación en invernadero. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 68 p
10. EGAWA, J 1980 Propiedades de los suelos derivados de cenizas volcánicas. In *Suelos derivados de cenizas volcánicas*. Ed. by Ishizuka, Y., y Black, C A En Japón, México, CIMMYT. p. 14-67
11. FASSBENDER, H W 1969 Deficiencia y fijación de P en suelos derivados de cenizas volcánicas de América Central In *Panel sobre suelos derivados de cenizas volcánicas en América Latina*. Turrialba, Costa Rica, 1969 (Trabajos presentados) Turrialba. IICA p B-4 1-10
12. FASSBENDER, H W 1969 Estudio del fósforo en suelos de América Central IV Capacidad de fijación de P y su relación con características edáficas Turrialba 19(4):497-505
13. FOX, R L 1974 Chemistry and management of soil dominated by amorphous colloids *Soil and Crop Science Society of Florida Proceedings* 33:112-119
14. KAWAI, K 1980 The relationship of phosphorus adsorption to amorphous aluminium for characterizing andosols *Soil Science* 129(3):186-190
15. LOPEZ, H. 1977 Caracterización de la fracción mineral en cinco Andepts de los cantones de Corredores y Coto Brus Tesis Ing Agr San José. Costa Rica, Universidad. Facultad de Agronomía, Escuela de Fitotecnia 51 p.
16. MARTINI, J.A 1969 Distribución geográfica y características de los suelos derivados de cenizas volcánicas en Centroamérica In *Panel sobre suelos derivados de cenizas volcánicas en América Latina*. Turrialba, Costa Rica (Trabajos presentados) Turrialba, IICA p. A-5, 1-19
17. MARTINI, J.A. 1970 Caracterización del estado nutricional de los principales Andosoles de Costa Rica mediante la técnica del elemento faltante en invernadero. Turrialba 20(1):72-84.
18. MARTINI, J.A.; PALENCIA, J.A. 1975 Soils derived from volcanic ash in Central America: I *Andepts Soil Science* 120(4): 278-287
19. MARTINI, J.A ; SUAREZ, A. 1975 Potassium status of some Costa Rican Latosols and Andosols and their response to potassium fertilization under greenhouse conditions. *Soil Science Society of America Proceedings* 39(1):74-80
20. MENDEZ, L F 1977 Clasificación y caracterización de cinco Andepts de la Cordillera Volcánica de Guanacaste Tesis Ing Agr San José. Costa Rica, Universidad, Facultad de Agronomía Escuela de Fitotecnia. 55 p
21. MOLINA E ; BERTSCH, F.; CORDERO, A.; ALVARADO, A 1986 Potasio en Andepts de Costa Rica I. Formas en el suelo Turrialba 36(3):281-288.
22. OSPINA, O 1974. El fósforo de los Andosoles Suelos Ecuatoriales 6(1):97-135
23. PALENCIA, J A ; MARTINI, J.A. 1970. Características morfológicas físicas y químicas de suelos derivados de cenizas volcánicas en Centroamérica Turrialba 20(3):325-332.
24. SALAS, R 1979 Estudio de la fertilidad de suelos dedicados a potreros en la zona norte de Heredia Tesis Ing Agr San José. Costa Rica, Universidad, Facultad de Agronomía, Escuela de Fitotecnia 62 p
25. SCHENKEL, G 1971 Evaluación de la fertilidad de un suelo mediante la producción de materia seca en ensayos de macetas. I. Representaciones gráficas usadas. Turrialba 21(3): 253-262
26. YUAN, T.L. 1974 Chemistry and mineralogy of Andepts. *Soil and Crop Science Society of Florida Proceedings* 33:101-108