

EVALUACION DE LA FERTILIDAD DE DIEZ SUELOS DEL PACIFICO SECO DE COSTA RICA MEDIANTE LA TECNICA DEL ELEMENTO FALTANTE O ADITIVO^{1/*}

*Freddy Sancho M. ***

*Alvaro Cordero ***

ABSTRACT

Fertility of ten soils from the dry Pacific area of Costa Rica estimated by the missing-adding element technique. The missing-adding element technique was used in a greenhouse study to evaluate the fertility of ten topsoil samples from three toposequences (Guardia, Jicaral and Pijije) from the Dry Pacific area of Costa Rica.

All soils were N and P deficient. However, differences in response to these elements were observed between sequences and soils in each sequence was deficient in many soils, affecting yield considerably. Other elements (Zn, B, Fe and Mn) were deficient individually or in combination in some soils.

K limited yield only in one soil classified as Typic Pellustert. Ca and Mg availability was not a problem since the parent material of the soils is high in these elements and the environment favors their accumulation.

The critical levels used as a criteria for soil analysis and fixation studies were too high; some of the expected deficiencies did not appear in the greenhouse study. A reevaluation of critical levels is suggested.

INTRODUCCION

En Costa Rica en muchas ocasiones se ha utilizado la prueba del elemento faltante (7, 8, 10, 11) como un método biológico rápido para evaluar la fertilidad de los suelos. Sin embargo hasta la fecha se han realizado muy pocos estudios utilizando la técnica del elemento faltante o aditivo desarrollada en la Universidad de Carolina del Norte (2). Una de las ventajas de este último método, es que considera el estado inicial de fertilidad del suelo al momento de establecer los tratamientos de fertilización.

En un estudio anterior llevado a cabo por Sancho, Cordero y Alvarado (12) en tres toposecuencias de suelos del Pacífico Seco, estos autores encontraron en cada toposecuencia diferencias en los contenidos disponibles de los nutrimentos, así como en la capacidad de fijación de cada uno de los suelos. Siguiendo dicha investigación, el objetivo del presente trabajo es observar en qué medida las diferencias en la disponibilidad de elementos, notadas por análisis de suelo y curvas de fijación, son detectadas también en una prueba de invernadero.

MATERIALES Y METODOS

Análisis preliminares

Se tomaron muestras desde 0 a 30 cm de profundidad en diez suelos de tres secuencias topográficas. La ubicación y la clasificación de cada uno de los suelos se muestra en el Cuadro 1. →

La caracterización química de los suelos se presenta en el Cuadro 2. —

^{1/} Recibido para su publicación el 4 de abril de 1984.

* Parte del trabajo presentado por el primer autor para optar al grado de Magister Scientiae en el Programa UCR-CATIE.

** Profesores de suelos, Facultad de Agronomía, Universidad de Costa Rica.

Cuadro 1. Ubicación y clasificación de los suelos.

| Número | Ubicación | Clasificación* |
|--------|-----------|-------------------------|
| 1 | Jicaral 1 | Fluventic Ustropept |
| 2 | Jicaral 2 | Vertic Ustropept |
| 3 | Jicaral 3 | Typic Pellustert |
| 4 | Guardia 1 | Fluventic Ustropept |
| 5 | Guardia 2 | Entic Chromoustert |
| 6 | Guardia 3 | Typic Pellustert |
| 7 | Pijije 1 | Lithic Ustorthent |
| 8 | Pijije 2 | Andic Ustic Humitropept |
| 9 | Pijije 3 | Andic Ustic Humitropept |
| 10 | Pijije 4 | Typic Distrandep |

* Fuente: Mata (9).

** Los números del 1 al 4 indican la posición en la secuencia, de la más alta a la más baja.

Cuadro 3. Niveles críticos utilizados como criterio de fertilización (Tomado de Díaz-Romeu y Hunter (3)).

| Elemento | Cantidad |
|----------|-------------------------------|
| P | 12 $\mu\text{g/ml}$ de suelo |
| K | 0,2 meq/100 ml de suelo |
| S | 12 $\mu\text{g/ml}$ de suelo |
| B | 0,2 $\mu\text{g/ml}$ de suelo |
| Cu | 1 $\mu\text{g/ml}$ de suelo |
| Mn | 5 $\mu\text{g/ml}$ de suelo |
| Zn | 3 $\mu\text{g/ml}$ de suelo |

Cuadro 2. Análisis químicos iniciales de los suelos estudiados.

| | pH | | M.O. | | meq/100 ml de suelo | | | | $\mu\text{g/ml}$ de suelo | | | | | |
|-----------|------------------|-----|------|----------------|---------------------|-----------------|-----------------|----------------|---------------------------|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| | H ₂ O | KCl | % | K ¹ | Ca ² | Mg ² | Al ³ | P ¹ | S ² | B ³ | Cu ¹ | Fe ¹ | Mn ¹ | Zn ¹ |
| Jicaral 1 | 6,6 | 5,0 | 2,45 | 0,42 | 38,40 | 9,90 | 0,20 | 11,2 | 11,8 | 0,6 | 5,5 | 5,3 | 5,3 | 1,5 |
| Jicaral 2 | 6,1 | 5,0 | 5,22 | 1,15 | 25,50 | 6,60 | 0,15 | 12,2 | 15,0 | 0,6 | 5,5 | 16,0 | 9,2 | 1,8 |
| Jicaral 3 | 6,4 | 5,0 | 3,36 | 0,15 | 34,80 | 13,30 | 0,15 | 4,0 | 8,7 | 0,6 | 13,6 | 8,7 | 19,2 | 2,4 |
| Guardia 1 | 5,7 | 4,8 | 4,90 | 1,54 | 10,60 | 1,80 | 0,20 | 6,5 | 13,0 | 0,7 | 10,0 | 6,9 | 4,5 | 2,2 |
| Guardia 2 | 5,7 | 4,7 | 3,54 | 0,80 | 16,50 | 3,10 | 0,18 | 9,5 | 4,3 | 0,1 | 12,0 | 71,0 | 7,0 | 2,1 |
| Guardia 3 | 6,3 | 4,8 | 1,14 | 0,11 | 18,90 | 7,40 | 0,15 | 1,3 | 1,6 | 0,3 | 9,0 | 8,0 | 4,5 | 1,3 |
| Pijije 1 | 5,9 | 4,9 | 1,32 | 0,80 | 3,80 | 1,10 | 0,15 | 4,5 | 3,8 | 0,1 | 3,5 | 47,3 | 8,7 | 2,2 |
| Pijije 2 | 6,2 | 5,3 | 5,86 | 0,56 | 7,08 | 1,07 | 1,15 | 2,3 | 2,6 | 0,3 | 5,5 | 27,3 | 1,0 | 1,7 |
| Pijije 3 | 6,6 | 5,8 | 4,72 | 0,49 | 10,42 | 1,43 | 0,17 | 2,7 | 0,5 | 0,1 | 5,5 | 24,0 | 1,0 | 1,7 |
| Pijije 4 | 6,4 | 5,7 | 7,67 | 0,57 | 8,33 | 1,58 | 0,17 | 2,3 | 2,7 | 0,3 | 7,0 | 36,7 | 1,0 | 2,2 |

1/ Olsen modificado

2/ KCl 1N

3/ Ca(H₂PO₄)₂

Se realizaron estudios de fijación adicionando a los suelos una serie de soluciones con concentraciones crecientes de nutrientes (3). Después de haber realizado los análisis de rutina para cada uno de los elementos se construyeron figuras marcando las cantidades de elemento extraído y las cantidades de elemento agregado. Las curvas se usaron para determinar la cantidad de cada nutriente necesaria para extraer del suelo tres veces el nivel crítico (Cuadro 3).

Estudio de invernadero

El estudio de invernadero se basó en la técnica del elemento faltante o aditivo descrita por Díaz-Romeu y Hunter (3). Esta técnica consiste en establecer un tratamiento de fertilización óptimo teórico, basados en resultados de análisis del suelo y curvas de sorción; además de este tratamiento óptimo se establecen otros doce tratamientos, en los cuales se elimina o adiciona un elemento consi-

derando si éste se encuentra o no en el tratamiento óptimo.

Las cantidades de P, K, S, B, Cu, Mn, y Zn que se agregaron al tratamiento óptimo se determinaron mediante curvas de sorción, considerando la cantidad del elemento necesaria de agregar para extraer del suelo tres veces su nivel crítico tentativo (Cuadro 3). En el caso del calcio se adicionó CaCO_3 hasta alcanzar un nivel de 4 meq Ca/100 ml de suelo; también se agregó MgO hasta alcanzar un nivel de 1,5 meq Mg/100 ml de suelo. Se consideraron las relaciones entre los elementos Ca, Mg y K; si la relación Ca/Mg estaba por debajo de 1,2 o por encima de 6,2 se adicionó potasio o magnesio hasta estar entre estos límites. Si la relación Mg/K estaba por debajo de 1,2 o por encima de 14 se adicionó potasio o magnesio.

Cuando la cantidad de hierro extraído del suelo con la solución Olsen modificada fue menor que $10 \mu\text{g/ml}$, se consideró a este suelo deficiente y entonces se agregó al tratamiento óptimo $20 \mu\text{g Fe/ml}$ de suelo.

Considerando que la mayoría de los suelos tropicales responden a la aplicación de nitrógeno y que no existe un método químico confiable para establecer su disponibilidad, a todos los tratamientos óptimos se les adicionó $50 \mu\text{g N/ml}$ de suelo al momento de la siembra y también se fertilizó el agua de riego a razón de 1,5 g de $\text{NH}_4\text{NO}_3/5$ litros de agua.

Las cantidades de elementos agregados a los tratamientos óptimos se muestran en el Cuadro 4. Además de este tratamiento se establecieron otros trece tratamientos que permitieron comparar y evidenciar la respuesta para cada elemento. En el Cuadro 5 se presenta una descripción de los tratamientos aplicados y la cantidad de cada nutrimento que se adicionó cuando éste no fue aplicado al óptimo.

Las unidades experimentales se establecieron en macetas plásticas de 1 l utilizando un volumen de 0,8 l de suelo. El riego fue suplido mediante un sistema de capilaridad, para lo cual se utilizaron filtros de cigarrillo hechos de fibra de celulosa de 0,5 x 15 cm.

Como planta indicadora se utilizó sorgo forrajero. Se sembraron 25 semillas por maceta y a la semana se raleó dejando 16 plantas. El sorgo se dejó crecer durante cuatro semanas al cabo de las cuales fue cortado a una distancia de 1 cm por encima del suelo.

RESULTADOS Y DISCUSION

Secuencia topográfica Jicaral

Como se muestra en el Cuadro 6, en toda la secuencia Jicaral se obtuvo una marcada deficiencia de nitrógeno, lo que concuerda con el bajo contenido de materia orgánica y el uso agrícola intensivo que se da a estos suelos.

Se obtuvo una clara deficiencia de fósforo, que se acentúa en el suelo de la posición inferior. El suelo Jicaral 3 en ausencia de fósforo rinde tan solo un 26,5% del rendimiento obtenido por el tratamiento óptimo. La menor disponibilidad de fósforo en la posición inferior puede estar asociada por una mayor adsorción en arcillas o por formación de fosfatos insolubles de calcio, como lo encontró Udo (13) en suelos de Nigeria.

En relación al potasio, en ninguno de los suelos se obtuvieron respuestas significativas. El suelo de Jicaral 3 que presentaba los niveles de potasio intercambiable más bajos presentó la menor respuesta. Esto concuerda con lo afirmado por Kemler (5), quien indica que frecuentemente el potasio intercambiable no correlaciona bien con la respuesta de las plantas, principalmente cuando los suelos difieren en contenidos de arcilla y en el tipo de arcilla. Las raíces de las plantas absorben el potasio de la solución del suelo, pero la concentración en la solución no depende sólo del potasio intercambiable sino también del potasio no intercambiable (4).

En el suelo Jicaral 3 se observó un severo desbalance entre los elementos Ca, Mg y K, sin embargo no se presentaron deficiencias de K, aún cuando se realizaron adiciones extras de los elementos calcio y magnesio.

En ninguno de los suelos se observaron deficiencias de calcio y magnesio lo que es explicable por la influencia de materiales calizos provenientes de las formaciones Rivas-Sabana Grande y del Complejo de Nicoya (9). Se nota la acumulación de calcio y magnesio en la posición inferior de la toposecuencia, debido al movimiento de estos elementos de las posiciones superiores hacia las inferiores.

La respuesta al azufre fue significativa en uno de los suelos. Sin embargo en todos los suelos la aplicación de azufre incrementó los rendimientos; se cree que al dar un mayor uso a estos suelos ésta podría ser una de las deficiencias potenciales a presentarse. Actualmente estas deficiencias se corrigen con bajas aplicaciones de azufre.

Cuadro 4. Adición de nutrimentos para alcanzar el tratamiento de fertilización óptima.

| Suelo | meq/100 ml de suelo | | | $\mu\text{g/ml}$ de suelo | | | | | | | |
|-----------|---------------------|------|------|---------------------------|-----|-----|------|----|----|----|----|
| | K | Ca | Mg | N* | P | S | B | Cu | Fe | Mn | Zn |
| Jicaral 1 | 0,45 | — | — | 50 | 90 | 24 | 0,70 | — | 20 | 55 | 26 |
| Jicaral 2 | — | — | — | 50 | 141 | 25 | 0,35 | — | 20 | — | 25 |
| Jicaral 3 | 1,68 | — | — | 50 | 324 | 36 | 1,20 | — | 20 | 62 | 23 |
| Guardia 1 | — | — | — | 50 | 174 | 32 | — | — | 20 | 8 | 19 |
| Guardia 2 | — | — | — | 50 | 186 | 36 | 2,30 | — | — | 2 | 16 |
| Guardia 3 | 1,60 | — | — | 50 | 309 | 150 | 2,00 | — | 20 | 49 | 26 |
| Pijije 1 | — | 1,67 | 1,80 | 50 | 90 | 68 | 0,50 | — | — | 10 | 13 |
| Pijije 2 | — | — | 1,00 | 50 | 204 | 52 | 0,45 | — | — | 55 | 14 |
| Pijije 3 | 0,18 | — | 1,10 | 50 | 234 | 44 | 1,60 | — | — | 80 | 15 |
| Pijije 4 | — | — | 0,50 | 50 | 246 | 48 | 1,20 | — | — | 65 | 12 |

* Nitrógeno adicional, en cantidad de 1,5 g de NH_4NO_3 /5 litros de agua destilada, fue aplicado en el riego.

Cuadro 5. Cantidad de elemento agregado al tratamiento cuando no se aplica al óptimo.

| Tratamiento No. | Descripción | Cantidad de elemento |
|-----------------|---------------|---|
| 1 | Testigo | Nada agregado |
| 2 | Optimo | |
| 3 | Opt. — N | No se agrega N al agua |
| 4 | Opt. \pm P | 100 μg P/ml de suelo |
| 5 | Opt. \pm K | 0.2 meq K/100 ml de suelo |
| 6 | Opt. \pm Ca | 0.05 g CaCO_3 = 1 meq Ca/100 ml de suelo |
| 7 | Opt. \pm Mg | 0.02 g MgO = 1 meq Mg/100 ml de suelo |
| 8 | Opt. \pm B | 2 $\mu\text{g/ml}$ de suelo |
| 9 | Opt. \pm Cu | 2 $\mu\text{g/ml}$ de suelo |
| 10 | Opt. \pm Fe | 20 $\mu\text{g/ml}$ de suelo |
| 11 | Opt. \pm Mn | 30 $\mu\text{g/ml}$ de suelo |
| 12 | Opt. + Mo | 2 $\mu\text{g/ml}$ de suelo |
| 13 | Opt. \pm S | 30 μg S/ml de suelo |
| 14 | Opt. \pm Zn | 10 μg Zn/ml de suelo |

Cuadro 6. Tratamientos, pesos secos y rendimientos relativos obtenidos en cada suelo de la secuencia topográfica Jicaral.

| Jicaral 1 | | | Jicaral 2 | | | Jicaral 3 | | |
|-----------|---------------|-------------------|-----------|---------------|-------|-----------|---------------|-------|
| Trat. | Peso Seco (g) | R.R. ¹ | Trat. | Peso Seco (g) | R.R. | Trat. | Peso Seco (g) | R.R. |
| Testigo | 2,71* | 32,7 | Testigo | 2,77* | 31,9 | Testigo | 1,62* | 24,2 |
| Optimo | 8,29 | 100,0 | Optimo | 8,65 | 100,0 | Optimo | 6,69 | 100,0 |
| OPT-N | 2,97* | 35,8 | OPT-N | 3,38* | 39,1 | OPT-N | 3,01* | 45,0 |
| OPT-P | 6,63* | 78,0 | OPT-P | 6,70* | 77,4 | OPT-P | 1,77* | 26,5 |
| OPT-K | 6,81 | 82,2 | OPT+K | 8,10 | 93,6 | OPT-K | 6,27 | 93,7 |
| OPT+Ca | 8,28 | 99,9 | OPT+Ca | 9,13 | 105,5 | OPT+Ca | 6,67 | 99,8 |
| OPT+Mg | 7,78 | 93,8 | OPT+Mg | 7,46 | 86,2 | OPT+Mg | 8,00 | 119,6 |
| OPT-B | 6,39* | 77,1 | OPT-B | 6,00* | 69,4 | OPT-B | 7,48 | 111,8 |
| OPT+Cu | 8,21 | 97,0 | OPT+Cu | 8,67 | 100,2 | OPT+Cu | 6,17 | 92,3 |
| OPT-Fe | 6,40* | 77,2 | OPT-Fe | 7,25* | 83,8 | OPT-Fe | 6,81 | 101,9 |
| OPT-Mn | 6,58* | 79,4 | OPT+Mn | 9,26 | 107,0 | OPT-Mn | 7,69 | 115,0 |
| OPT+Mo | 7,24 | 87,3 | OPT+Mo | 8,57 | 99,0 | OPT+Mo | 5,86 | 87,6 |
| OPT-S | 6,65* | 80,2 | OPT-S | 7,61 | 88,0 | OPT-S | 5,77 | 86,3 |
| OPT-Zn | 7,65 | 92,3 | OPT-Zn | 7,99 | 92,4 | OPT-Zn | 7,41 | 110,8 |

1/
$$\text{Rendimiento relativo \%} = \frac{\text{Peso seco del óptimo} \pm \text{nutrimento}}{\text{Peso seco del óptimo}} \times 100$$

* Diferente al tratamiento óptimo según la DMS al 5 %

Para los elementos menores, se observó respuesta a la aplicación de boro y hierro para los suelos Jicaral 1 y 2, y de manganeso para el suelo Jicaral 1.

Comparando la productividad de los tratamientos testigo y óptimo para cada uno de los suelos se notó una disminución de la productividad del sorgo conforme se desciende en la pendiente. Esto posiblemente esté asociado con el contenido de arcillas y otras características físicas de cada uno de los suelos.

Secuencia topográfica Guardia

En todos los suelos de la toposecuencia Guardia se presentó respuesta a la aplicación de

nitrógeno (Cuadro 7). Esta respuesta es diferente entre cada uno de los suelos y aumenta conforme se desciende en la pendiente. La diferencia de respuesta a la aplicación de nitrógeno es debida a que los desbordamientos del río Tempisque han enriquecido la parte superior de la toposecuencia que es parte del albardón o dique del río. Además de un mayor enriquecimiento de las posiciones superiores, la actividad fluvéntica ha originado diferentes condiciones físicas en los suelos de la toposecuencia, lo que ha permitido que el suelo de la posición superior tenga una mayor producción de material vegetal.

En todos los suelos se obtuvo respuesta a la aplicación de fósforo, siendo este elemento más limitante que el nitrógeno. Estos suelos sin la apli-

cación de fósforo rindieron 22,2%, 31,5% y 19,8% de los respectivos tratamientos con fertilización fosfórica.

Se obtuvo respuesta a la aplicación de potasio en el suelo Guardia 3, coincidiendo esto en el nivel bajo de potasio intercambiable (0,11 meq K/100 ml) encontrado en este suelo. En este suelo a diferencia del Typic Pellustert de la secuencia Jicaral, al adicionar calcio se incrementaron los desbalances, lo que se manifestó en una reducción del rendimiento por la disminución del potasio extraído.

Concordando con los análisis de suelo para azufre, se presentó una respuesta diferente a la

aplicación de este elemento a través de la toposecuencia. Únicamente el suelo Guardia 1, que en el análisis inicial mostró un contenido de azufre de 13 µg/ml de suelo, no mostró respuesta a su aplicación; los otros dos suelos de la toposecuencia sí presentaron respuesta al azufre, acentuándose ésta en el suelo Guardia 3, el cual tenía 1,6 µg de azufre/ml de suelo.

Con los elementos menores se observa que no hay una buena asociación entre la determinación en el suelo y la respuesta a la aplicación de fertilizante. Las respuestas significativas a estos elementos se presentaron en el suelo de la posición inferior.

Cuadro 7. Tratamientos, pesos secos y rendimientos relativos obtenidos en cada suelo de la secuencia topográfica Guardia.

| Guardia 1 | | | Guardia 2 | | | Guardia 3 | | |
|-----------|---------------|-------------------|-----------|---------------|-------|-----------|---------------|-------|
| Trat. | Peso Seco (g) | R.R. ¹ | Trat. | Peso Seco (g) | R.R. | Trat. | Peso Seco (g) | R.R. |
| Testigo | 1,49* | 22,4 | Testigo | 1,51* | 20,2 | Testigo | 0,94* | 13,8 |
| Optimo | 6,66 | 100,0 | Optimo | 7,49 | 100,0 | Optimo | 6,82 | 100,0 |
| OPT-N | 5,07 | 76,1 | OPT-N | 2,16* | 28,8 | OPT-N | 1,43* | 21,0 |
| OPT-P | 1,48* | 22,2 | OPT-P | 2,36* | 31,5 | OPT-P | 1,35* | 19,8 |
| OPT+K | 7,29 | 109,4 | OPT+K | 1,99* | 26,6 | OPT-K | 4,35* | 63,8 |
| OPT+Ca | 9,90* | 148,6 | OPT+Ca | 6,34 | 84,7 | OPT+Ca | 4,54* | 66,6 |
| OPT-Mg | 6,63 | 99,5 | OPT+Mg | 7,43 | 99,2 | OPT+Mg | 6,33 | 92,8 |
| OPT+B | 6,68 | 100,2 | OPT-B | 7,02 | 93,8 | OPT-B | 4,17* | 61,1 |
| OPT+Cu | 6,04 | 90,6 | OPT+Cu | 6,57 | 87,8 | OPT+Cu | 4,63* | 67,9 |
| OPT-Fe | 7,94 | 119,2 | OPT+Fe | 7,34 | 98,0 | OPT-Fe | 5,57 | 81,7 |
| OPT-Mn | 5,84 | 87,6 | OPT-Mn | 5,75 | 76,8 | OPT-Mn | 4,05* | 59,4 |
| OPT+Mo | 6,20 | 93,1 | OPT+Mo | 6,74 | 90,0 | OPT+Mo | 4,80* | 70,4 |
| OPT-S | 7,00 | 105,0 | OPT-S | 6,09 | 81,3 | OPT-S | 4,20* | 61,6 |
| OPT-Zn | 6,67 | 100,1 | OPT-Zn | 6,65 | 88,8 | OPT-Zn | 4,84* | 71,0 |

$$1/ \text{Rendimiento relativo \%} = \frac{\text{Peso seco del óptimo} \pm \text{nutriente}}{\text{Peso seco del óptimo}} \times 100$$

* Diferente al tratamiento óptimo según la DMS al 5 %

El suelo Guardia 3 presentó deficiencias de boro, hierro, manganeso y zinc.

Secuencia topográfica Pijije

Todos los suelos de la toposecuencia son deficientes en nitrógeno, (Cuadro 8) no observándose relación entre el contenido de materia orgánica en el suelo y la respuesta a la aplicación de fertilizante nitrogenado.

La respuesta tan significativa encontrada a la aplicación de fósforo concuerda con los análisis de suelo, en los cuales se observaron muy bajos contenidos de fósforo y una alta fijación debida principalmente a la presencia de alofana (12).

No se observó respuesta a la aplicación de pequeñas cantidades de calcio y magnesio. Estos resultados refuerzan las observaciones de Manix (6) quien indica que de acuerdo con los análisis

químicos de la Toba de Liberia, cabe esperar el desarrollo de suelos con bajo contenido de fósforo, moderado a alto contenido de potasio y moderado contenido de calcio y magnesio.

En dos de los suelos (Pijije 2 y Pijije 3) se obtuvo respuesta a la aplicación de azufre; posiblemente en los otros suelos de esta secuencia, la deficiencia de azufre se haga evidente conforme se le dé un uso más intensivo al suelo. Deficiencias de azufre en estos suelos también han sido mencionadas por Cordero (1).

De acuerdo con el análisis de suelo, en esta toposecuencia se habría esperado obtener deficiencia de los elementos menores, manganeso, boro y zinc; sin embargo en la prueba biológica no fue posible detectar ninguna de ellas, lo que parece indicar que los niveles críticos tentativos utilizados como criterio de fertilización necesitan ser ajustados.

Cuadro 8. Tratamientos, pesos secos y rendimientos relativos obtenidos en cada suelo de la secuencia topográfica Pijije.

| Pijije 1 | | | Pijije 2 | | | Pijije 3 | | | Pijije 4 | | |
|----------|---------------|-------------------|----------|---------------|-------|----------|---------------|-------|----------|---------------|-------|
| Trat. | Peso Seco (g) | R.R. ¹ | Trat. | Peso Seco (g) | R.R. | Trat. | Peso Seco (g) | R.R. | Trat. | Peso Seco (g) | R.R. |
| Testigo | 1,36* | 21,7 | Testigo | 0,94* | 17,3 | Testigo | 0,77* | 14,2 | Testigo | 0,83* | 12,0 |
| Optimo | 6,26 | 100,0 | Optimo | 5,43 | 100,0 | Optimo | 5,40 | 100,0 | Optimo | 6,89 | 100,0 |
| OPT-N | 1,97* | 31,5 | OPT-N | 1,73* | 31,9 | OPT-N | 1,18* | 21,8 | OPT-N | 1,55* | 22,5 |
| OPT-P | 1,29* | 20,6 | OPT-P | 0,87* | 16,0 | OPT-P | 0,92* | 17,0 | OPT-P | 0,85* | 12,3 |
| OPT-K | 7,24 | 115,6 | OPT-K | 5,73 | 105,5 | OPT-K | 5,33 | 98,7 | OPT-K | 7,16 | 103,9 |
| OPT-Ca | 6,13 | 97,9 | OPT+Ca | 5,22 | 96,1 | OPT+Ca | 5,99 | 110,9 | OPT+Ca | 5,93 | 86,1 |
| OPT-Mg | 6,21 | 99,2 | OPT-Mg | 4,70 | 86,6 | OPT-Mg | 5,11 | 94,6 | OPT+Mg | 7,10 | 103,0 |
| OPT-B | 6,22 | 99,4 | OPT-B | 5,53 | 101,8 | OPT-B | 5,29 | 98,0 | OPT-B | 6,85 | 99,4 |
| OPT+Cu | 6,40 | 102,2 | OPT+Cu | 5,51 | 101,5 | OPT+Cu | 5,19 | 96,1 | OPT+Cu | 5,79 | 84,0 |
| OPT+Fe | 5,58 | 89,1 | OPT+Fe | 5,37 | 98,9 | OPT+Fe | 5,91 | 109,4 | OPT+Fe | 6,05 | 87,8 |
| OPT-Mn | 5,66 | 90,4 | OPT-Mn | 5,61 | 103,3 | OPT-Mn | 5,18 | 95,9 | OPT-Mn | 6,89 | 100,0 |
| OPT+Mo | 5,41 | 86,4 | OPT+Mo | 5,77 | 106,3 | OPT+Mo | 5,31 | 98,3 | OPT+Mo | 6,76 | 98,1 |
| OPT-S | 5,69 | 90,9 | OPT-S | 3,95* | 72,7 | OPT-S | 2,16* | 40,0 | OPT-S | 6,17 | 89,6 |
| OPT-Zn | 5,08 | 81,2 | OPT-Zn | 5,72 | 105,3 | OPT-Zn | 5,97 | 100,6 | OPT-Zn | 6,55 | 95,0 |

$$1/ \text{Rendimiento relativo \%} = \frac{\text{Peso seco del óptimo} \pm \text{nutrimento}}{\text{Peso seco del óptimo}} \times 100$$

* Diferente al tratamiento óptimo según la DMS al 5 %

RESUMEN

Se utilizó la metodología del elemento faltante o aditivo para evaluar la fertilidad de diez suelos pertenecientes a tres secuencias topográficas del Pacífico Seco de Costa Rica (Guardia, Jicaral y Pijije) bajo condiciones de invernadero.

Todos los suelos fueron deficientes en nitrógeno y fósforo, sin embargo se obtuvo respuestas diferentes entre secuencias y entre suelos de una misma secuencia topográfica.

El azufre fue el tercer elemento en importancia en los suelos estudiados y la deficiencia de algunos elementos menores tales como zinc, boro, hierro y manganeso se encontró en forma aislada solo en algunos suelos.

El potasio no fue limitante en los suelos de la región lo que se nota observando que únicamente un suelo clasificado como Typic Pellustert muestra respuesta a su aplicación. En ninguno de los suelos se obtuvo deficiencia de calcio y magnesio, lo que se explica por la presencia de materiales parentales ricos en calcio y magnesio y por la reducida lixiviación.

Los niveles críticos empleados para evaluar el análisis químico del suelo y las curvas de fijación tendieron a exagerar el nivel de deficiencia. Muchas de las supuestas deficiencias, indicadas así por el análisis de suelo, no fueron corroboradas en la prueba biológica, lo que parece indicar que los niveles críticos utilizados deben revisarse.

LITERATURA CITADA

1. CORDERO, V.A. Problemas de fertilidad de algunos suelos de Guanacaste bajo explotación ganadera. San José, Costa Rica, Ministerio de Agricultura y Ganadería. Noticiero de Agronomía 1 (9): 1-4. 1972.
2. DIAZ-ROMEY, R. y BEJARANO, W. Estudios de invernadero. Turrialba, Costa Rica C.A.T.I.E., Proyecto Centroamericano de Fertilidad de Suelos, 1978. 17 p.
3. DIAZ-ROMEY, R. y HUNTER, A. Metodología de muestreo de suelos, análisis químico de suelos y tejido vegetal e investigación en invernadero. Turrialba, Costa Rica, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, 1978. 62 p.
4. DOLL, E.C. y LUCAS, R.E. Testing soil for potassium, calcium and magnesium. *In*: Walsh, L.M. y Beaton, J.D., eds. Soil testing and plant analysis. Madison, Wisconsin, Soil Science Society of America, 1973. pp. 133-151.
5. KEMMLER, G. Potassium deficiency in soils of the tropics as a constraint to food production. *In*: International Rice Research Institute. Soil related constraint to food production in the tropics. Manila, Philippines, IRRI, 1980 pp. 253-275.
6. MANNIX, I. Estudio de suelos de la finca del Consejo Nacional de Producción, Liberia. San José, Costa Rica, Ministerio de Agricultura y Ganadería, Sección de Suelos, 1967. 214 p. Mapa Esc. 1:25.000.
7. MARTINI, J.A. Caracterización del estado nutricional de los principales latosoles de Costa Rica, mediante la técnica del elemento faltante en invernadero. Turrialba 19(3): 394-408. 1969.
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(1): 72-84. 1970.
9. MATA, R. Variaciones pedogenéticas de tres secuencias topográficas del Pacífico Seco de Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, 1982. 120 p.
10. MOLINA, G.P. Estudio de fertilidad de cinco suelos de Guanacaste. Tesis Ing. Agr. San José, Costa Rica, Universidad de Costa Rica, Facultad de Agronomía, 1978. 63 p.
11. SALAS, R. Estudio de la fertilidad de suelos dedicados a potreros en la zona norte de Heredia. Tesis Ing. Agr. Costa Rica, Facultad de Agronomía, Universidad de Costa Rica, 1979.
12. SANCHO, F.; CORDERO, A. y ALVARADO, A. Fertilidad actual de los suelos de tres toposecuencias en el Pacífico Seco de Costa Rica, Agronomía Costarricense 8(1): 9-16. 1984.
13. UDO, E.J. Forms and distribution of phosphorus in three Nigerian soils profiles along toposequence. Tropical Agriculture 54(2): 149-156. 1967.