

## DETERMINACION DEL N Y P EN ABONOS ORGANICOS MEDIANTE LA TECNICA DEL ELEMENTO FALTANTE Y UN BIOENSAYO MICROBIANO<sup>1</sup>

Eduardo Salas<sup>2/\*</sup>, Carlos Ramírez<sup>\*\*</sup>

**Palabras clave:** N y P, abonos orgánicos, bioensayo microbiano, elemento faltante.

### RESUMEN

Mediante la técnica del elemento faltante en invernadero y el uso de un bioensayo microbiano se determinó la disponibilidad de N y P en 6 sustratos: suelo sólo o en mezcla 9:1 con diversos abonos orgánicos, a saber: pollinaza (CM), compost (C), bocashi (B), vermicompost (V) o broza de café (Br). En ambos bioensayos y para cada sustrato se realizó un experimento factorial 2x2 (fertilización con P y N); las combinaciones resultantes fueron: +P, +N, +P+N y -P-N (testigo). En el bioensayo microbiano se utilizó un diseño de bloques al azar con 6 repeticiones y se midió el crecimiento de la biomasa microbiana nativa (BM) 2 días después de aplicar el tratamiento e incubar con glucosa. En la prueba de invernadero se utilizó un diseño completamente al azar con 4 repeticiones, se utilizó sorgo (*Sorghum vulgare*) como planta indicadora. Se midió el peso seco de la parte aérea de las plantas a los 34 días de la siembra (PS) y el contenido foliar de nutrimentos. Ambos bioensayos indicaron respuesta del suelo a la aplicación de P y N. La mezcla del suelo con un 10% de CM, C o B mostraron los valores más altos de BM y PS. La mezcla suelo:CM no respondió a ningún tratamiento químico, mientras que en mezcla con el C o el B respondió a la aplicación de N pero no al P. Con el V o la Br se obtuvo las menores respuestas de las variables y hubo respuesta a la adición de P y N. La técnica del elemento faltante de invernadero

### ABSTRACT

**Assessment of N and P in organic fertilizers using the missing element technique and a microbial bioassay.** Through a greenhouse bioassay, using sorghum (*Sorghum vulgare*) as a test plant, and a microbial assay the availability of N and P in 6 substrates was determined, namely: soil alone and in combination with several organic amendments (10% W/W of chicken manure (CM), compost (C), bocashi (B), vermicompost (V) and coffee hulls (Br). In the microbial assay a complete randomized design with 6 replicates was used; the microbial biomass (BM) was determined 2 days after the glucose amendment of each treatment. In both bioassays a 2x2 factorial (N and P fertilization) was established and the following combinations resulted: +N, +P, +N +P, -N-P (control). For the greenhouse experiment, a complete randomized design with 4 replicates was used. Above-ground plant material of sorghum was harvested 34 days after sowing to determine plant dry weight (PS) and content of N and P. Both assays showed a response to the soil amendment with N and P. Soil treatments with CM, C and B showed the highest values of PS and BM. Soil treatment with CM amended with N, P or both did not show a response in PS or BM, in C and B there was a response to N addition but not to P. In treatments with V

1/ Recibido para publicación el 1 de agosto del 2000.

2/ Autor para correspondencia.

\* Escuela de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional. Beneficiario del Programa Financiero de Apoyo a Investigadores Científicos del Consejo Nacional de

Investigaciones Científicas y Tecnológicas (CONICIT) de Costa Rica. San José, Costa Rica.

\*\* Centro de Investigación en Protección de Cultivos, Facultad de Agronomía, Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica.

una herramienta capaz de identificar disponibilidad de N y P tanto en el suelo como en los sustratos de suelo más abono orgánico. Los resultados del bioensayo microbiano presentaron una alta correlación ( $r=0.86$ ,  $P=0.0001$ ) con los de invernadero, por lo tanto se convierte en una metodología alternativa para calificar la calidad nutricional de los sustratos de siembra y puede determinar la disponibilidad de N y P con la ventaja de que los resultados se obtienen en 2 días a un menor costo, lo cual es ventajoso sobre los ensayos de invernadero.

## INTRODUCCION

Los problemas de contaminación, asociados a la disposición inadecuada de los desechos y residuos orgánicos, han propiciado la búsqueda de alternativas que mejoren su utilización. El ciclaje de los desechos sólidos biodegradables en la producción de compostas orgánicas para ser usadas en la agricultura, es una alternativa viable. Sin embargo, es necesario que el agricultor conozca con certeza la calidad nutricional del abono orgánico que adquiere en el mercado para guiar su dosificación, de modo que asegure una respuesta óptima del cultivo. De esta manera se puede aumentar la demanda. La calidad nutricional de los abonos orgánicos a menudo se da a conocer como el contenido de nutrientes determinado mediante el análisis químico previa digestión con ácido nítrico y ácido perclórico. Desafortunadamente, los resultados que aportan estos análisis no reflejan la disponibilidad de los nutrientes para las plantas (Brinton y Seekins 1994, Kuo 1995, Vandevivere y Ramírez 1995a, Arroyo 1997). La concentración de nutrientes en extracto líquido es otro tipo de análisis, de uso menos generalizado, para evaluar abonos orgánicos, sin embargo es de uso rutinario en el análisis de medios de crecimiento (Warnckey y Krauskopf 1983); aunque, Vandevivere y Ramírez (1995a) tampoco lo encontraron adecuado para predecir la disponibilidad

and Br, the lowest values for PS and BM were obtained, and there was a growth response to N and P. Both bioassays were able to pinpoint N and P deficiencies in the soil as well in some of the mixtures of soil with organic amendments. A high correlation was encountered between the greenhouse assay and the microbial bioassay ( $r=0.86$ ,  $P=0.0001$ ). Therefore, the microbial bioassay can be a cheaper alternative to the plant bioassay not only to evaluate the nutritional quality of compost but also to identify nutrient deficiencies in soils as well as in substrates amended with organic fertilizers.

de nutrientes. La inconsistencia de los resultados de los análisis químicos convencionales ha propiciado el uso de bioensayos en invernaderos con plantas indicadoras (Filzpatrick 1993, Davis et al. 1991 y 1992); si bien adecuados, presentan el inconveniente que requieren mucho tiempo y recursos para ser usados como análisis de rutina de los abonos orgánicos.

Por su parte, Vandevivere y Ramírez (1995b) desarrollaron una metodología para determinar el valor fertilizante de los abonos orgánicos, esta consiste en estimular el crecimiento de los microorganismos nativos mediante la adición de glucosa en un sustrato de suelo y abono orgánico; el crecimiento va a ser proporcional al elemento en menor concentración en la mezcla. Después de 2 días se mide la biomasa microbiana, que correlaciona con el crecimiento de plantas cultivadas en sustratos iguales. A pesar de que el ensayo de invernadero y el bioensayo microbiano dan una idea global de la disponibilidad de nutrientes, no indican cual o cuales elementos pueden llegar a limitar el crecimiento de las plantas. Esto puede lograrse mediante la técnica del elemento faltante o aditivo (Díaz-Romeu y Hunter 1978) que se ha usado como método sistemático para caracterizar el estado nutricional de los suelos de algunas regiones del país (Salas y Pacheco 1985, Bertsch 1982, Cabalceta y Cordero 1994), pero no hay informes de su uso para caracterizar abonos orgánicos. Esta metodología ayuda a

identificar los nutrimentos que pueden limitar el crecimiento normal de las plantas en el suelo y, de igual forma, se podría utilizar para estudiar los abonos orgánicos, con las limitaciones apuntadas de tiempo y recursos. El bioensayo microbiano propuesto por Vandevivere y Ramírez (1995b) tiene el potencial de obtener resultados similares al de invernadero, con las ventajas de que requiere un menor tiempo (2 días) y es menos costoso.

El presente trabajo tuvo como objetivo determinar la disponibilidad del N y P en un suelo o en mezclas con diferentes abonos orgánicos, utilizando la técnica del elemento faltante o aditivo en invernadero y un bioensayo microbiano desarrollado por (Vandevivere y Ramírez 1995b).

## MATERIALES Y METODOS

Se analizaron 6 sustratos: 5 abonos orgánicos en mezcla con suelo en proporción 1:9 en peso seco y sólo suelo. En experimentos preliminares se determinó que esta proporción era adecuada para evitar que el exceso de  $\text{CO}_2$  que evoluciona una muestra con una proporción mayor de abono orgánico, neutralizara totalmente el NaOH en los tubos trampa, lo cual impediría la determinación de la biomasa microbiana. Las características químicas de los abonos se presentaron en los Cuadros 2 y 3 de Salas y Ramírez (2001) de este mismo volumen y las del suelo se presentan en el Cuadro 1.

A los sustratos se les determinó la disponibilidad de N y P por medio de la técnica del elemento faltante o aditivo de invernadero y mediante la metodología de Vandevivere y Ramírez (1995b). Se diseñó un experimento factorial 2x2 para un total de 4 tratamientos por sustrato y método de análisis (invernadero, laboratorio). Los factores consistieron de fertilización nitrogenada (+N) y fosfórica (+P), cada uno a 2

niveles. Las combinaciones resultantes fueron las siguientes:

- 1.+P=  $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$  a 50 mg de  $\text{P}_2\text{O}_5/\text{L}$  de suelo.
- 2.+N=  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  a 50 mg de N/L de suelo.
- 3.+P y +N
- 4.-P y -N (testigo).

En el bioensayo microbiano se usó un diseño de bloques completos al azar con 6 repeticiones por tratamiento. La unidad experimental consistió de un frasco Erlenmeyer de 1 L con 70 g de la mezcla suelo:abono a la capacidad de campo del suelo. Se determinó la biomasa microbiana (mg de carbón microbiano/g de mezcla suelo:abono) 2 días después de incubar el sustrato con glucosa, según el procedimiento descrito por Salas y Ramírez (2001). Los tratamientos de fertilización se aplicaron con el agua destilada utilizada para corregir la humedad de las muestras a la capacidad de campo del suelo.

Para la técnica del elemento faltante de invernadero se empleó un diseño completamente al azar con 4 repeticiones por sustrato. La unidad experimental consistió de una maceta de plástico de 0.25 L de capacidad con 200 g (peso seco) de la mezcla suelo:abono en proporción 9:1. Como planta indicadora, se utilizó sorgo (*Sorghum vulgare*); en cada maceta se sembró 15 semillas (93% de germinación) y 10 días después de su germinación se raleó a 12 plantas. El sistema de riego fue por capilaridad, por medio de un material poroso (filtro de cigarrillos de acetato de celulosa) ubicado en el fondo de la maceta y conectado a una fuente de agua destilada. A los tratamientos +N y +N+P se les suministró N en forma constante por medio del agua de riego, a razón de 0.3 g de  $\text{NH}_4\text{NO}_3/\text{L}$ .

Las plantas de sorgo se cosecharon a los 34 días de la siembra y se determinó el peso seco de la parte aérea ( $70^\circ\text{C}$ ). Por medio de análisis foliar

Cuadro 1. Características químicas del suelo Andisol utilizado en los bioensayos.

pH	cmol(+)/L				mg/ml					%
	Ca	Mg	K	Acidez	P	Cu	Fe	Mn	Zn	M.O.
6.5	8.9	4.0	0.4	0.1	4.9	25.3	223	10.2	2.3	5.7

se determinó el contenido de nutrientes de la parte aérea de las plantas de sorgo. Para probar si existen diferencias entre los niveles de cada factor (N y P) y si existió interacción entre los factores, se realizó un análisis de varianza (ANDEVA) para las variables medidas en los bioensayos de laboratorio e invernadero. Las medias de peso seco de las plantas de sorgo, de los tratamientos de fertilización, se correlacionaron con las medias de biomasa microbiana, para todos los sustratos juntos.

## RESULTADOS Y DISCUSION

Se presentó una alta correlación ( $r=0.86$ ;  $P=0.0001$ ) entre la biomasa microbiana obtenida en el bioensayo microbiano y el peso seco de la parte aérea de las plantas de sorgo, crecidas en los sustratos de suelo solo o en mezcla con pollinaza, compost, bocashi, vermicompost o broza de café (Figura 1). Así, la biomasa microbiana medida 2 días después de incubar con glucosa, fue un buen indicador de la calidad (nutricional) de los sustratos de siembra. Estos resultados coinciden con los hallazgos de Vandevivere y Ramírez (1995ab) y Salas y Ramírez (2001), en este último estudio se evaluó los mismos sustratos usados en el presente trabajo con cultivos indicado-

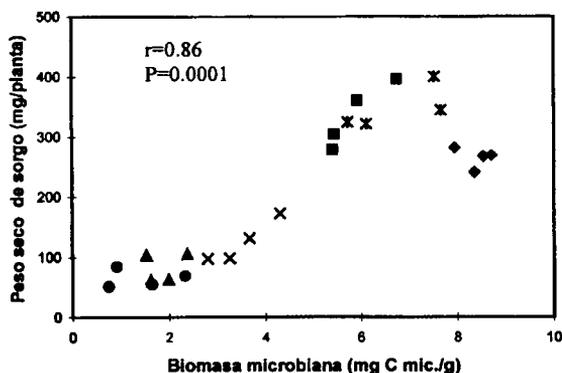


Fig. 1. Diagrama de dispersión de los puntos definidos por la biomasa microbiana medida 2 días después de incubar con glucosa y el peso seco de la parte aérea de las plantas de sorgo, crecidas en los sustratos de ◆, Pollinaza; ■, Compost; x, Bocashi; x, Vermicompost; ▲, Broza de café y ●, suelo.

res en condiciones de campo. El bioensayo microbiano se basa en el principio que el crecimiento de los microorganismos, en presencia de un exceso de carbono fácilmente disponible, está en función de la disponibilidad de otros nutrientes en el sustrato de siembra. La Figura 1 muestra 2 concentraciones de datos: 1) los de la zona inferior izquierda del área representados por el suelo, la broza de café y el vermicompost, sustratos que presentaron los menores pesos secos y las menores biomásas microbianas; y 2) los datos de la zona superior derecha pertenecientes a la pollinaza, el compost y el bocashi con los mayores valores de las variables medidas; por tanto, calificados como de buena calidad por la mayor disponibilidad de nutrientes. Los resultados confirman la variabilidad en la calidad nutricional de los abonos orgánicos obtenida en otros estudios (Vandevivere y Ramírez 1995ab, Chen et al. 1996). Las diferencias en la calidad nutricional se deben a la menor disponibilidad de uno o más nutrientes; la identificación y enmienda de éstos puede maximizar el potencial del abono orgánico como fertilizante, al quedar también a disposición para las plantas los otros elementos, que de otra manera no se aprovecharían. Se necesita, por tanto, de métodos que identifiquen cual o cuales son los nutrientes que se encuentran en concentraciones limitantes en los abonos orgánicos para el crecimiento de las plantas.

La técnica del elemento faltante o aditivo de invernadero ha sido usada para determinar la disponibilidad de los nutrientes en algunos órdenes de suelos de Costa Rica y puede usarse de igual forma para abonos orgánicos. Los resultados obtenidos con esta técnica indicaron que el suelo Andisol usado en la presente investigación respondió a la adición de P (Cuadro 2). Resultados similares usando la misma técnica han sido señalados por Martini (1970ab) así como por Salas y Pacheco (1985), en suelos Andisoles de Costa Rica. La arcilla dominante en estos suelos es la alofana, la cual se liga a la materia orgánica formando complejos organominerales difíciles de descomponer y es la causante de la alta fijación de P (Bertsch 1995). El nivel de P en el suelo al inicio del experimento fue de  $4.9 \mu\text{g/ml}$ ; por este bajo contenido era de esperar la respuesta de las plantas de sorgo a la aplicación de P.

Cuadro 2. Medias de biomasa microbiana (BM), peso seco de la parte aérea (PS) y absorción neta de elementos de la parte aérea de las plantas de sorgo, según sustrato de siembra y tratamientos de fertilización química (+P= 100 mg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/L de sustrato, +N= 50 mg de N/L de sustrato).

Tratamientos	BM	Peso Seco	N	P	Ca	Mg	K	S	Fe	Cu	Zn	Mn
	mg de C. mic.	mg/planta										
<b>Suelo</b>												
Testigo	0.75	51.25	0.74	0.03	0.14	0.14	0.92	0.04	9.71	1.04	0.90	1.72
+P	0.92	84.17	0.75	0.10	0.29	0.26	1.55	0.05	11.79	5.25	1.04	1.67
+N	1.65	54.74	1.56	0.04	0.24	0.21	0.89	0.05	7.5	0.33	0.82	2.20
+P+N	2.33	68.54	1.99	0.10	0.31	0.31	1.15	0.03	8.18	2.46	0.96	1.85
Efecto de P <sup>1</sup>	0.43*	23.36*	0.22**	0.07*	0.11	0.11*	0.45*	-0.01	1.38	3.17	0.14*	-0.20
Efecto de N <sup>2</sup>	1.15*	-6.07	1.03*	0.01	0.06	0.06*	-0.22	-0.01	-2.91	-1.75	-0.08	0.33
Error estandar <sup>3</sup>	0.19	3.66	0.06	0.02	0.04	0.02	0.20	0.00	2.28	1.75	0.05	0.46
<b>Pollinaza</b>												
Testigo	8.55	267.70	8.14	1.67	0.77	0.88	9.86	0.50	28.87	5.00	5.14	17.64
+P	8.71	269.00	9.18	2.06	0.82	0.87	10.28	0.57	29.46	2.33	5.27	21.07
+N	7.95	282.20	8.55	1.92	0.82	0.92	11.52	0.53	32.13	5.37	4.95	19.87
+P+N	8.36	241.20	8.11	1.76	0.74	0.84	9.21	0.47	46.54	3.92	4.77	16.54
Efecto de P <sup>1</sup>	0.29	-19.88	0.30	0.12	-0.01	-0.05	-0.94	0.01	7.50	-2.06	-0.03	0.05
Efecto de N <sup>2</sup>	-0.47	-6.64	-0.33	-0.03	-0.01	0.01	0.30	-0.03	10.17	0.98	-0.35	-1.15
Error estandar <sup>3</sup>	0.24	76.60	2.82	0.53	0.24	0.26	2.82	0.16	16.75	1.14	1.32	5.15
<b>Compost</b>												
Testigo	5.44	304.17	3.39	1.19	0.71	0.73	12.24	0.35	37.75	7.08	4.29	8.98
+P	5.41	278.96	3.80	1.13	0.64	0.67	11.26	0.35	36.54	3.83	3.77	9.23
+N	5.93	361.04	5.53	1.93	1.16	1.32	17.26	0.45	132.92	1.01	6.31	16.43
+P+N	6.75	396.67	9.63	2.15	1.24	1.37	19.5	0.45	56.92	1.67	6.51	19.06
Efecto de P <sup>1</sup>	0.40	5.21	0.26	0.08	0.01	0.00	0.63	0.00	-38.61	-1.30	-0.16	1.44
Efecto de N <sup>2</sup>	0.92	87.29	5.99*	0.88*	0.53*	0.65*	6.63*	0.10	57.78	-4.12	2.38*	8.64*
Error estandar <sup>3</sup>	0.60	35.85	0.62	0.16	0.11	0.09	1.71	0.05	39.92	1.58	0.71	1.37
<b>Bocashi</b>												
Testigo	6.12	321.88	4.16	0.85	0.97	1.11	10.48	0.42	42.33	1.92	9.12	11.51
+P	5.73	324.79	3.89	0.85	0.94	1.01	9.91	0.42	41.67	2.75	4.88	7.78
+N	7.67	344.68	9.44	0.92	1.21	1.56	10.92	0.45	52.58	3.29	7.2	14.05
+P+N	7.53	400.83	10.68	1.16	1.38	1.79	10.91	0.59	75.58	4.87	8.73	14.56
Efecto de P <sup>1</sup>	-0.26	29.53	0.49	0.12	0.07	0.06	-0.29	0.07	11.17	1.21	-1.36	-1.61
Efecto de N <sup>2</sup>	1.68*	49.42	6.04*	0.19*	0.34*	0.62*	0.72	0.10	22.08*	1.75	0.97	4.66*
Error estandar <sup>3</sup>	0.36	25.86	0.40	0.06	0.09	0.11	0.95	0.06	5.63	1.04	1.68	1.35

\* Nivel de significación menor a 0.05.

\* Interacción N\*P significativa al 5%.

<sup>1/</sup> Calculado así: 1/2 (P+(N+P)-(N+Testigo)); <sup>2/</sup> Calculado así: 1/2 (N+(N+P))-(P+Testigo); <sup>3/</sup> Error estándar para el efecto de N y de P.

Continuación Cuadro 2

Cuadro 2. Medias de biomasa microbiana (BM), peso seco de la parte aérea (PS) y absorción neta de elementos de la parte aérea de las plantas de sorgo, según sustrato de siembra y tratamientos de fertilización química (+P= 100 mg de  $P_2O_5/L$  de sustrato, +N= 50 mg de N/L de sustrato).

Tratamientos	BM	Peso Seco	N	P	Ca	Mg	K	S	Fe	Cu	Zn	Mn
	mg de C. mic.	mg/planta										
<b>Vermicompost</b>												
Testigo	3.26	98.13	1.63	0.10	0.36	0.32	2.90	0.09	12.92	0.42	1.28	3.20
+P	3.67	130.83	1.61	0.17	0.45	0.41	3.88	0.13	14.21	3.58	1.77	2.48
+N	2.80	96.83	2.96	0.11	0.42	0.38	2.75	0.11	25.54	2.71	1.70	3.78
+P+N	4.31	171.88	3.99	0.22	0.65	0.59	4.49	0.16	28.04	2.21	2.49	4.98
Efecto de $P^1$	0.80	53.88**	0.51*	0.09*	0.16*	0.15**	1.36**	0.05*	1.90	1.33	0.64*	0.24
Efecto de $N^2$	0.03	19.87*	1.86*	0.03	0.13*	0.12*	0.23	0.03	13.23	0.46	0.57*	1.54*
Error estandar <sup>3</sup>	0.65	3.56	0.19	0.02	0.03	0.01	0.08	0.01	5.27	1.94	0.18	0.36
<b>Broza de café</b>												
Testigo	1.62	61.25	0.91	0.05	0.21	0.18	1.99	0.07	11.63	5.37	0.92	1.78
+P	1.53	103.13	1.10	0.10	0.32	0.27	3.24	0.10	93.08	0.36	9.00	3.24
+N	1.99	62.92	1.90	0.05	0.26	0.23	1.65	0.07	15.63	7.29	1.16	3.08
+P+N	2.38	105.00	2.92	0.13	0.39	0.36	2.39	0.07	20.96	4.08	1.33	2.73
Efecto de $P^1$	0.10	41.98*	0.61**	0.07*	0.12*	0.11*	1.00**	0.02*	43.39*	-4.11*	4.13	0.56
Efecto de $N^2$	0.66*	1.77	1.41*	0.02	0.06*	0.07*	-0.60*	-0.02	-34.06	2.82	-3.72	0.40
Error estandar <sup>3</sup>	0.24	2.41	0.10	0.01	0.02	0.01	0.08	0.01	14.66	1.24	2.73	0.51

\* Nivel de significación menor a 0.05.

\*\* Interacción N\*P significativa al 5%.

<sup>1/</sup> Calculado así:  $1/2 (N+(N+P)-(P+Testigo))$ ; <sup>2/</sup> Calculado así:  $1/2 (P+(N+P)-(N+Testigo))$ ; <sup>3/</sup> Error estándar para el efecto de N y de P. El pH se determinó por el método potenciométrico en relación 1:10 de abono orgánico y agua. La Conductividad eléctrica se midió en relación 1:10. Las cenizas se determinaron por calcinación a 700° C/8 h. El porcentaje de materia orgánica se calculó según la diferencia entre 100% y el porcentaje de cenizas.

La capacidad de intercambio catiónico se cuantificó por extracción con acetato de amonio 1 N. pH=7. Para el extracto acuoso se utilizó una relación 1:10 de abono orgánico y agua y se obtuvo por agitación mecánica durante 24 h. a temperatura ambiente y posterior filtración. Se determinó el porcentaje de hidrosolubles por gravimetría, luego de secar una licuota del sobrenadante a 60° C en baño María. Se evaluó el N y C/micro- Kjeldahl y el método de Walkley y Black modificado respectivamente, tanto en la muestra sólida como en el extracto acuoso, secándolo a baja temperatura. Se cuantificó el contenido nutricional total en el extracto de digestión nítrico-perclórica y en forma disponible.

Por otro lado, basado en las características del suelo, se esperaba una respuesta al N, tal como las obtenidas por Martini (1970ab) y Salas y Pacheco (1985), pero ésta no fue evidente según los resultados del ensayo de invernadero. A pesar de la respuesta al P, la cantidad aplicada al suelo no fue suficiente para obtener, en las plantas de sorgo, una concentración en el rango óptimo (2 a 3.5% de P) de acuerdo a Jones et al. (1991), ya que los tratamientos con P estuvieron por debajo

de este rango (0.12 y 0.15% de P), según se deduce de la información del Cuadro 2. Por lo tanto, a pesar de la aplicación de éste elemento al suelo en los tratamientos +P y +N+P siempre limitó el crecimiento de las plantas, así que la falta de completar primero el requerimiento de P fue la causa de la ausencia de respuesta a la aplicación de N. La recomendación antes de iniciar un ensayo como este es realizar curvas de retención de elementos para conocer con certeza la

cantidad necesaria a aplicar para corregir las deficiencias. Los 50 mg de  $P_2O_5$  /L de suelo equivalente a 100 kg/ha, no fueron suficientes debido a las características de la alta retención de P de éstos suelos. De haberse aplicado la cantidad requerida de P se hubiera obtenido posiblemente una respuesta al N. Las absorciones netas de N y K se incrementaron significativamente con la aplicación de N (Cuadro 2), esto indica que la respuesta al N no fue suficiente para afectar la materia seca de las plantas por los motivos antes comentados. La aplicación de un abono orgánico de alta calidad a un suelo deficiente en N y P, atenuaría los problemas enunciados, con la consecuente respuesta de la planta al N, como ocurrió con los mejores abonos usados en la presente investigación.

Sin embargo, el objetivo de esta investigación era demostrar si los resultados obtenidos en invernadero correlacionaban con los del bioensayo microbiano, con el fin de validar este último por su rapidez y bajo costo. Como se indicó antes, al agregar glucosa al suelo, aproximadamente 2 días después se presenta un máximo crecimiento de la biomasa microbiana nativa, la cual es proporcional a los nutrientes contenidos en el suelo. Si algún nutriente se encuentra en concentraciones subóptimas, así será también el crecimiento microbiano. La enmienda al suelo de este nutriente debería incrementar la biomasa, hasta que otro limite su crecimiento, de acuerdo al principio de Liebig (Bertsch 1995). Los resultados obtenidos con el bioensayo microbiano presentaron un aumento de biomasa microbiana cuando se agregó N o P (efecto de N y P significativo), lo que comprueba que ambos elementos presentan concentraciones inadecuadas en el suelo bajo estudio (Cuadro 2).

Pese a que la técnica del elemento faltante se ha aplicado a diferentes tipos de suelos para conocer la disponibilidad de nutrientes, no ha sido aplicada a otros sustratos de siembra; por ejemplo, suelo en mezcla con abono orgánico. Esta técnica puede sugerir la corrección de algún elemento o elementos que limiten el crecimiento de las plantas, en tanto que el abono orgánico no sea suficiente para corregirlas; también puede sugerir que la cantidad de abono mezclado con el suelo es suficiente para el adecuado crecimiento

de las plantas, sobre todo en viveros comerciales que utilizan con frecuencia estas mezclas. La dosis óptima de abono orgánico a mezclar implica; por otro lado, hacer un uso eficiente de este recurso, que a menudo es caro para los agricultores, quienes debido al desconocimiento de la calidad del abono que usan, pueden excederse en las proporciones de las mezclas desperdiciándolo, o lo enmiendan innecesariamente con fertilizante químico. Al contrario, si se utilizan abonos de menor calidad, frecuentemente no se suele corregir atinadamente las deficiencias nutricionales de éstos, con el deterioro consecuente del crecimiento de las plantas. La evaluación de los abonos orgánicos mediante este bioensayo con antelación a su uso en sustratos de vivero, permitiría corregir las deficiencias mediante las enmiendas nutricionales específicas. En la presente investigación, la mezcla del suelo con un 10% de los diferentes abonos orgánicos en general mejoró la disponibilidad de nutrientes para las plantas, esto se tradujo en el mayor peso seco de las mismas y en las mayores absorciones netas de elementos comparadas con las del tratamiento de solo suelo (Cuadro 2). Incluso el tratamiento +N+P al suelo no fue suficiente para al menos obtener resultados similares a los encontrados cuando se incorporó los mejores abonos. Los abonos orgánicos tienen la ventaja de proporcionar tanto macroelementos como microelementos y mejoran las características físicas del suelo, por tanto pueden resultar mejor que la fertilización química (Tester 1990, Dick y MacCoy 1993).

Sin embargo, los abonos orgánicos también presentaron diferencias significativas entre sí y respondieron diferente a la aplicación de N y P. En el caso del sustrato de suelo:pollinaza no hubo respuesta a la aplicación de estos elementos porque la pollinaza los aportó en cantidades suficientes, de tal forma que fue uno de los mejores sustratos de crecimiento del sorgo. En el Cuadro 2 se confirma la influencia nula de los tratamientos de fertilización (+P, +N y +P+N) tanto sobre la biomasa microbiana, el peso seco de las plantas y las absorciones netas de los diferentes elementos ( $P > 0.05$ ). Las concentraciones de los elementos en el sorgo se encontraron en los rangos de suficiente a alto de acuerdo a Jones et al. (1991); probablemente la

pollinaza se puede utilizar a una dosis menor al 10% con este tipo de suelo, siempre con excelentes resultados y con un uso más eficiente del abono. Nuevamente, el resultado del bioensayo microbiano fue similar al de invernadero. Salas y Ramírez (2001) utilizaron la pollinaza, analizada en este estudio, a un 5% en los cultivos de chile dulce y tomate y resultó el tratamiento con los mayores pesos secos comparado con los otros abonos orgánicos al 10%, este resultado es una fuerte indicación para afirmar que el nivel óptimo de pollinaza esté cercano al 5% y no al 10%.

La biomasa microbiana (BM), el peso seco de las plantas (PS) y la absorción neta de elementos no se afectaron por la adición de P en los sustratos con compost o bocashi. La mezcla de un 10% de estos abonos fue suficiente para compensar las deficiencias de P del suelo (4,9  $\mu\text{g}/\text{ml}$ ); esto se explica porque, junto a la pollinaza, fueron los que presentaron los mayores contenidos de P (Cuadros 2 y 3 de Salas y Ramírez, 2001). A pesar de la alta fijación de P del suelo bajo estudio, la incorporación de un 10% de estos abonos orgánicos fue suficiente para atenuar este problema, el cual no fue posible evitar con los 100 kg de  $\text{P}_2\text{O}_5/\text{ha}$  aplicados. Esto es un resultado muy importante, considerando el problema de la alta fijación de P de estos suelos y que el fertilizante fósforado es uno de los más caros. En el caso de estos sustratos no solo no habría necesidad de enmendarlos con P, sino que probablemente se podrán utilizar a menores concentraciones en mezclas con suelo, lo que conllevaría a su ahorro.

Por otro lado, la adición de N a los sustratos con compost y bocashi, aunque incrementó la BM y el PS, su efecto no fue significativo excepto para la BM en el bocashi (Cuadro 2); sin embargo, afectó la absorción de varios elementos ( $P < 0.05$ ) (Cuadro 2). Las plantas crecidas con estos 2 abonos presentaron concentraciones de N por debajo del rango de suficiencia según Jones et al. (1991), por lo cual se dio la tendencia de respuesta al N (Cuadro 2). La absorción neta máxima de N obtenida con el tratamiento testigo en el sustrato con pollinaza fue alcanzada por el compost y el bocashi solo en los tratamientos +N y +N+P. El efecto positivo de la aplicación de N en estos 2 últimos abonos sobre la absorción ne-

ta de N tuvo un crecimiento aproximado de 6 mg de N/planta respecto al tratamiento testigo y +P (Cuadro 2). Estos resultados sugieren una respuesta a la aplicación de N en estos 2 sustratos, indicativo de que el N puede limitar el crecimiento de las plantas en siembras sucesivas con el mismo sustrato.

Con el vermicompost las plantas de sorgo respondieron al N cuando se aplicó junto al P; de igual manera, el efecto del P se incrementó junto al N (interacción significativa,  $P = 0.004$ ), lo cual indica que ambos elementos se encontraron en cantidades subóptimas en este sustrato. No hubo efecto del N ( $P = 0.9650$ ) ni del P ( $P = 0.2413$ ) sobre la BM, aunque fue el sustrato que presentó la mayor variación de esta variable, lo que pudo afectar el resultado; sin embargo, las tendencias observadas para el PS se aprecian también en la BM y en las absorciones netas de varios elementos (Cuadro 2). La adición de N al vermicompost mejoró la absorción de este elemento pero no afectó la absorción de P, esto muestra que el P fue limitante para el crecimiento del sorgo y con la adición de P se incrementó la absorción de este elemento pero no afectó la absorción de N, esto a su vez demuestra que el N fue también limitante en el sustrato (Cuadro 2). Según los análisis químicos del vermicompost (Cuadros 2 y 3 de Salas y Ramírez 2001) éste abono debió aportar cantidades importantes de N, semejante a la pollinaza y el compost o superior al bocashi, especialmente cuando se corrigen las deficiencias de P, pero los bioensayos siempre revelaron limitación por N.

La broza de café tuvo poco efecto sobre el suelo; en general las variables medidas en el ensayo de invernadero fueron similares en la mezcla broza de café y suelo que en el sustrato de solo suelo. De tal forma que los resultados discutidos para el suelo se ajustan a este, es decir aunque hubo efecto del P las concentraciones en la materia seca estuvieron por debajo del rango crítico y por lo tanto la deficiencia de P limitó la respuesta al N (Cuadro 2). En el bioensayo microbiano si se encontró respuesta a la aplicación de N ( $P < 0.05$ ). El efecto de N sobre el peso seco de las plantas fue solo de 1.77 mg/planta  $\pm$  2.41 ( $P > 0.05$ ). Mientras que la respuesta a

la aplicación de P fue significativa para el peso seco pero no para la biomasa microbiana, cuyo efecto fue solo de 0.10 mg de C. mic.  $\pm$  0.24. En ambos bioensayos la ausencia de respuesta puede estar enmascarada por la alta variación. Los resultados de las absorciones netas de los elementos indican respuestas positivas a la aplicación de N y de P. Por un lado, la biomasa microbiana indicó la deficiencia en P y por otro el peso seco de las plantas indicó la deficiencia de N y, la deficiencia de ambos nutrientes fue validada por los datos de las absorciones netas; en otras palabras, ambos experimentos fueron complementarios para indicar los elementos limitantes en el sustrato. Tanto el vermicompost como el sustrato de broza de café deberían enmendarse con N y P, para optimizar su desempeño como enmienda orgánica, pues se potenciaría la absorción de otros nutrientes que de otra manera no se aprovecharían al estar el crecimiento de las plantas limitado por estos macroelementos.

En resumen, se demostró que los abonos orgánicos pueden suplir cantidades importantes de nutrientes o presentar limitación de algunos. Identificar estas deficiencias mediante el bioensayo microbiano puede ayudar a hacer un uso más racional de los abonos, con aumentos o disminuciones de las dosis según su calidad o al sugerir enmiendas con los elementos deficitarios en los abonos para aumentar su disponibilidad para las plantas. Los bioensayos indicaron que el suelo Andisol probado responde a la aplicación de P y N. En mezcla con pollinaza no requiere ningún complemento químico, mientras que mezclas con el compost o el bocashi responden a la aplicación de N, aunque la materia seca del sorgo producida en ellos fue de las mejores, indicativo de un consumo de lujo o que el N es el elemento que con el tiempo puede llegar a limitar el crecimiento. Mientras que el suelo mezclado con el vermicompost o la broza de café mostró ser un sustrato deficiente para el buen desarrollo de las plantas; en ambos es necesario el complemento de nutrientes. La técnica del elemento faltante de invernadero es una herramienta capaz de caracterizar a los suelos así como a los sustratos de suelo más abono orgánico. Por

su parte, los resultados del bioensayo microbiano presentaron una alta correlación con los de invernadero, por lo tanto parece calificar esta metodología como adecuada para establecer la calidad nutricional de los sustratos de siembra, pues puede determinar las deficiencias de N o P a bajo costo y rápidamente. Sin embargo, es necesario validar a nivel de campo las predicciones basadas en biomasa microbiana, ya que contrario a las condiciones de campo, en las controladas se minimizan las pérdidas de nutrientes (ver Salas y Ramírez 2001).

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el apoyo económico brindado por el Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Tecnológicas (CONICIT) y al Centro de Investigaciones en Protección de Cultivos (CIPROC) de la Facultad de Agronomía de la Universidad de Costa Rica por el uso de las instalaciones, materiales y equipo.

## LITERATURA CITADA

- ARROYO M.C. 1997. Caracterización química de 22 compostes costarricenses. Tesis Lic. Universidad de Costa Rica, Facultad de Ciencias, Escuela de Química. 85 p.
- BERTSCH H.F. 1982. Fertilidad de nueve suelos clasificados como Typic Dystrandept en Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica., UCR/CATIE. 122p.
- BERTSCH H.F. 1995. La fertilidad de los suelos y su manejo. San José, Costa Rica. Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo p. 147.
- BRINTON W.F., SEEKINS M.D. 1994. Evaluation of farm plot conditions and effects of fish scrap compost on yield and mineral composition of field grown maize. *Compost Sci. Util.* 2:10-16.
- CABALCETA G., CORDERO A. 1994. Niveles críticos de fósforo en Ultisoles, Inceptisoles, Vertisoles y Andisoles de Costa Rica. *Agronomía Costarricense* 18(2):163-174.
- CHEN L., DICK W.A., STREETER J.G., HOITINK H.A.J. 1996. Ryegrass utilization of nutrients released from composted biosolids and cow manure. *Compost Science Utilization* 4(1):73-83.

- DAVIS P.A., FILZPATRICK G.E., GOSCICKI G., WOHLGEMUTH G., GOSCICKI E. 1992. Influence of biosolids treatment processes on finished compost efficacy. *In: Proceedings of the future direction of municipal sludge (biosolids) management.* Water Environment Federation, Portland, OR. p. 71-80.
- DAVIS P.A., FILZPATRICK G.E., GOSCICKI G., WOHLGEMUTH G., SVENSON S.E. 1991. Effects of sludge processing parameters on finished compost quality and long-term marketability. *Proceedings of the 64th Annual Conference, Water Pollution Control Federation, Toronto, Ontario, Canada.* p. 1-9.
- DIAZ-ROMEU R., HUNTER A. 1978. Metodología de muestreo de suelos, análisis químico de suelos y tejido vegetal e investigación en invernadero. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 65 p.
- DICK W.A., McCOY E.L. 1993. Enhancing soil fertility by addition of compost. *In: Science and engineering of composting: Design, environmental, microbiological and utilization aspects.* Ed. by Harry A.J. Hoitink; Harold M. Keener. Ohio, EE.UU., Renaissance Publications. p. 622-644.
- FILZPATRICK G.E., DAVIS P.A., LAMBERTS M.L. 1993. Effects of processing technologies on efficacy of sludgeyard trash cocompost. *Compost Sci. Util.* 1(2):73-78.
- JONES Jr. J.B., WOLF B., MILLS H.A. 1991. *Plant analysis handbook. 1. Methods of plant analysis and interpretation.* EE.UU., Micro-Macro Publishing, Inc. p 155.
- KUO S., 1995. Nitrogen and phosphorus availability in groundfish waste and chitin-sludge cocomposts. *Compost Science Utilization* 3(1):19-29.
- MARTINI J.A. 1970a. Algunas relaciones derivadas de estudios con la técnica del elemento faltante en el invernadero para "latosoles" y andosoles. *Turrialba* 20(2):204-212.
- MARTINI J.A. 1970b. Caracterización del estado nutricional de los principales andosoles de Costa Rica mediante la técnica del elemento faltante en invernadero. *Turrialba* 20(1):72-84.
- SALAS J., PACHECO R. 1985. Estudio de la fertilidad de suelos dedicados a potreros en la zona norte de Heredia, mediante la técnica del elemento faltante. *Agronomía Costarricense* 9(2):181-186.
- SALAS E., RAMIREZ C. 2001. Bioensayo microbiano para estimar los nutrientes disponibles en los abonos orgánicos: calibración en el campo. *Agronomía Costarricense* 25(2): 11-23.
- TESTER C.F. 1990. Organic amendment effects on physical and chemical properties of a sandy soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 54:827-831.
- VANDEVIVERE P, RAMIREZ C. 1995a. Control de calidad de abonos orgánicos por medio de bioensayos. *In: Simposio Centroamericano Sobre Agricultura Orgánica.* Ed. J.A. García, J.M. Nájera. UNED, San José, Costa Rica. p. 121-140.
- VANDEVIVERE P., RAMIREZ C. 1995b. Bioensayo microbiano para determinar los nutrientes disponibles en abonos orgánicos. *Boltec* 28(2):90-96.
- WARNCKE D.D., KRAUSKOPF D.M. 1983. Greenhouse growth media: testing and nutrition guidelines. Michigan State University, Cooperative Extension Service Bulletin E-1736.