

CAPACIDAD DE SUMINISTRO DE N, P Y K DE CUATRO ABONOS ORGÁNICOS¹

*Andrina Castro**, *Carlos Henríquez^{2/**}*, *Floria Bertsch^{***}*

Palabras clave: Suplemento de nutrimentos, abonos orgánicos, bioensayo microbiano, análisis total de nutrimentos, extracción de nutrimentos en invernadero.

Keywords: Nutrient supply, organic amendments, microbial bioassay, total nutrient content, greenhouse nutrient extraction.

Recibido: 28/10/08

Aceptado: 22/01/09

RESUMEN

Se estudió la capacidad de suplemento de N, P y K de 4 abonos orgánicos. Se utilizó 3 análisis: concentración total de nutrimentos, bioensayo microbiano, y extracción de nutrimentos en invernadero. Este último se realizó con los abonos puros y mezclados suelo: abono 4:1. Los materiales fueron 1 vermicomposte (estiércol de ganado vacuno) y 3 compostes (cachaza de caña de azúcar, broza de café y pulpa de naranja). Las concentraciones totales oscilaron entre 0,90-2,12% para N, 0,36-3,02% para P y 0,94-2,21% para K. Con el bioensayo microbiano la disponibilidad a 3 meses plazo fue 12-30% para N, 6-23% para P y 5-9% para K. Se considera que esta metodología subestima la disponibilidad para este último elemento, aunque parece predecir adecuadamente la disponibilidad de N y P a corto plazo. Con la extracción de nutrimentos en invernadero con los abonos puros, la disponibilidad varió de 4-15% para N, 1-4% para P y 6-49% para K. Se encontró una alta correlación entre las metodologías de análisis de totales y el bioensayo microbiano y una buena correlación entre estos 2 métodos y el ensayo de extracción en invernadero, con los abonos orgánicos mezclados con suelo, pero no con materiales puros. Este trabajo aporta evidencia cuantitativa de la disponibilidad de N, P y K a partir de abonos orgánicos, que sin pretender ser definitiva, presenta valores que podrían ser utilizados como referencia para futuros trabajos.

ABSTRACT

Nitrogen, phosphorus and potassium supply capacity in four organic amendments. Nitrogen, phosphorus, and potassium supply capacity was measured in 4 organic amendments. Analysis of total nutrient content, microbial bioassay, and greenhouse nutrient extraction methodologies were used and compared. The greenhouse assay was carried out using pure materials and a mixture 4:1 soil-organic amendment. Organic amendments were 1 vermicompost (cattle manure) and 3 composts (coffee, sugar cane, and orange wastes). The total nutrient content varied from 0.9-2.12% for N, 0.36-3.02% for P and 0.94-2.21% for K. With the microbial bioassay availability for N varied from 12-30%, 6-23% for P and 5-9% for K. The authors consider that the methodology makes a good estimation of N and P availability, but underestimates that fraction of K. With the greenhouse nutrient extraction, using pure materials, availability of N was 4-15%, 1-4 % for P and 6-49% for K. A high correlation between total nutrient content analysis and microbial bioassay was found and a good one between both laboratory methodologies and the greenhouse nutrient extraction, with mixtures but not for pure materials. Results of this study provide quantitative estimations of N, P and K availability for organic materials which could be used as a reference for future experiments.

1 Parte de la tesis de licenciatura de la primera autora bajo el Proyecto VI-510-A4-609 financiado por la Vicerrectoría de Investigación y el fondo FR-261 de la Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica.
2 Autor para correspondencia. Correo electrónico: carlos.henriquez@ucr.ac.cr

* Sede del Atlántico, Universidad de costa Rica. Turrialba, Costa Rica.
** Sede del Atlántico y Centro de Investigaciones Agronómicas, Universidad de Costa Rica.
*** Centro de Investigaciones Agronómicas, Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica.

INTRODUCCIÓN

Los abonos orgánicos han sido catalogados principalmente como enmiendas o mejoradores de suelo. Una de las principales preguntas que siempre se ha generado con respecto a estos materiales, es con relación a su capacidad de suplemento de nutrimentos a los cultivos. Se sabe que esta propiedad depende del grado de mineralización de los materiales y está en función no solo de las propiedades de la materia prima y del proceso de fabricación, sino también de las condiciones imperantes en el campo para su consecuente descomposición (Evanylo et al. 2008, Meléndez 2003, Bertsch 2003).

Aunque la mineralización no es el único proceso de transformación que los materiales orgánicos sufren en el suelo, si es uno de los más importantes al tomar en consideración su impacto sobre el mantenimiento de la fertilidad de los suelos en los agroecosistemas (Fassbender y Bornemisza 1987, Bertsch 2003).

La disponibilidad de nutrimentos de los abonos orgánicos es usualmente baja y variable, si se compara con los fertilizantes minerales; a diferencia de estos últimos, los orgánicos requieren mineralización previa la cual puede durar desde semanas hasta meses, sin que esta sea total ni el único proceso que los afecta. La mineralización está controlada en parte por varios factores como riqueza microbial, humedad, temperatura, textura y mineralogía del suelo, así como por la calidad de los materiales incorporados, cantidad agregada y forma de aplicación (Fassbender y Bornemisza 1987, Guerrero 1993, Soto 2003). Cuando los nutrimentos quedan finalmente mineralizados, pueden ser inmovilizados por los microorganismos, acomplexados dentro de estructuras húmicas o bien adsorbidos por los coloides, y dependiendo de las situaciones imperantes algunas formas podrían ser lixiviadas (Satchell 1974).

Aunque no es necesariamente la única vía de transformación, el N orgánico se puede mineralizar a partir de la descomposición de la materia orgánica pasando de amonio a nitratos. Su fuente podría incluir compuestos ya humificados estables y formas biológicamente activas producto de

la hidrólisis en medios ácidos (Castellanos y Pratt 1981, Kass 1998, Hartz et al. 2000). Estas formas son las determinadas por el análisis de suelos y que se han tomado en algunos casos como un índice de disponibilidad. Pese a ello, bajo condiciones tropicales este valor es una estimación puntual y no representa el potencial total del material (Fassbender y Bornemisza 1987).

En el caso del P, luego de la mineralización de la materia orgánica, este puede ser retenido en el suelo en forma más o menos reversible, similar a la reacción del P que proviene de fertilizantes industriales o del P mineral disponible en el suelo (Bertsch 1998, Henríquez y Cabalceta 1999). Cuando el P es adsorbido por las sustancias húmicas se reconocen 2 fracciones de gran importancia para las plantas: a) el P adsorbido por reacciones que lo mantienen en equilibrio con la concentración de P en la solución del suelo, y b) el P precipitado, el cual está formado por compuestos relativamente insolubles que hacen que su transferencia hacia la solución del suelo sea baja. El K por otro lado, ha sido un elemento que tradicionalmente se ha caracterizado por su poca afinidad a los componentes orgánicos, a pesar de que algunos abonos orgánicos contienen cantidades apreciables de este elemento (Durán y Henríquez 2007).

Dentro de las metodologías disponibles para abonos orgánicos, la más utilizada es el análisis del contenido de nutrimentos totales, la cual brinda una aproximación de la riqueza total de nutrimentos de cualquier material; pese a ello, las cantidades resultantes no son necesariamente las que están disponibles para las plantas, ya que no indica el plazo de su liberación (Meléndez 2003).

Otras metodologías como los bioensayos, han sido también propuestas para evaluar la capacidad de suplemento de los abonos orgánicos. La mejor prueba debería involucrar el crecimiento de plantas indicadoras en el sustrato orgánico, aunque este análisis resulta poco práctico para su uso rutinario ya que requiere de varios meses para realizarse (Vandevivere y Ramírez 1995a y 1995b, Alvarado y Briceño 2002, Schweizer et al. 2003).

Este trabajo tuvo como objetivo determinar la capacidad de suplemento de N, P y K de 4 abonos orgánicos con el fin de comparar la metodología de rutina usada actualmente, que es la de análisis de totales, con el bioensayo microbiano y la extracción en invernadero.

MATERIALES Y MÉTODOS

Abonos

Los abonos orgánicos utilizados en este estudio fueron:

MAT 1: Vermicompost fabricado de estiércol de ganado vacuno

MAT 2: Compost A fabricado de broza de café y cachaza de caña de azúcar (San Isidro)

MAT 3: Compost B fabricado de broza de café y cachaza de caña de azúcar (Jiménez)

MAT 4: Compost C fabricado de pulpa naranja

Métodos

El estudio de la capacidad de suplemento de los materiales usados se llevó a cabo a través de un análisis del contenido total de nutrimentos, un bioensayo microbiano, y la extracción de nutrimentos con planta indicadora en invernadero.

Análisis del contenido total de nutrimentos

Los materiales fueron analizados químicamente en el Laboratorio de Suelos y Foliar del Centro de Investigaciones Agronómicas de la Universidad de Costa Rica. Se aplicó la metodología de análisis de totales por digestión húmeda (Henríquez y Cabalceta 1999). La digestión del material se llevó a cabo con ácido nítrico en un microondas (CEM modelo MARS 5) y en un autoanizador para el caso específico de N. En el primer caso se digieren las muestras y se obtiene una solución ácida que contiene el total de minerales, que posteriormente se determinan en un espectrofotómetro de plasma (PERKIN ELMER

modelo Optima 3300RL). Con esta metodología se cuantificó el P, K, Ca, Mg, Fe, Cu, Zn, y Mg total de los sustratos. El N se cuantificó en un autoanizador de N (PERKIN ELMER modelo Series II 2410), el cual incinera las muestras a más de 1000°C en un compartimiento totalmente hermético y transforma todo el N orgánico e inorgánico a la forma gaseosa N₂ para su posterior cuantificación.

Bioensayo microbiano

El bioensayo microbiano se llevó a cabo en el Laboratorio del Centro de Investigaciones en Protección de Cultivos (CIPROC) de la Escuela de Agronomía de la Universidad de Costa Rica. Para ello se aplicó la metodología descrita por Vandevivere y Ramírez (1995a) y Salas y Ramírez (1997a). Esta consiste en medir la respiración o CO₂ generado por los microorganismos que crecen en el sustrato analizado a través del “Método de Respiración Inducida por un Sustrato” (RIS) propuesta por Anderson y Domsch (1978), con las modificaciones realizadas por Cheng y Coleman (1989). Luego de cuantificar el CO₂ generado, se aplican factores de conversión para estimar la cantidad de N, P y K biodisponibles a corto y mediano plazo.

Los materiales se mezclaron en una proporción suelo:abono 9:1 (peso:peso) y se colocaron en erlenmeyers de 50 ml. A la mezcla de suelo y abono se le incorporó 0,5 g de glucosa y agua hasta capacidad de campo (CC). Las muestras se incubaron en oscuridad y a temperatura ambiente, con el fin de alcanzar un máximo de actividad y la reproducción de los microorganismos nativos en el sustrato.

Con base en estimaciones hechas en bacterias por Powlson et al. (1987) y Anderson y Domsch (1989), las concentraciones de N, P y K son 6, 13 y 20 veces menores, respectivamente, que las concentraciones de C; debido a esto, estos factores se utilizan para estimar las cantidades disponibles de N, P y K. Al relacionar estos valores con el análisis de totales, es posible calcular el índice de disponibilidad para N, P y K en los abonos orgánicos.

Extracción de nutrimentos en condiciones de invernadero

A través del ensayo de invernadero se trató de cuantificar la cantidad de nutrimentos que una planta indicadora absorbe al crecer sobre los abonos orgánicos. Para ello se utilizó sorgo (*Sorghum bicolor* var Sudax) sembrado en 4 ciclos sucesivos de 30 días cada uno sobre el mismo sustrato. La prueba se realizó en los invernaderos del Centro de Investigaciones Agronómicas de la Universidad de Costa Rica.

El experimento se realizó en 2 modalidades: utilizando el abono orgánico en forma pura y en mezcla con suelo. Para el primer caso, se ajustó la cantidad utilizada de abono orgánico a una cantidad homogénea de 250 g en su base seca para todos los materiales. El cuadro 1 resume en la columna "Ajuste a 250 g secos", la cantidad que finalmente fue tomada de cada uno de los materiales para llenar los pots.

Cuadro 1. Cantidad de abono utilizado por pote, ajustado con base en su porcentaje de humedad.

Tratamiento	Humedad (%)	Ajuste a 250 g secos
MAT 1	51	510
MAT 2	31	362
MAT 3	45	454
MAT 4	14	290

En el caso del abono orgánico en mezcla con suelo, se utilizó una proporción de 100 g de abono orgánico en su base seca con 300 g de suelo, para un total de 400 g. El resto de las determinaciones fueron similares para ambas modalidades.

Los tratamientos en invernadero tuvieron 4 repeticiones y fueron dispuestos en un diseño irrestricto al azar. En cada maceta se sembraron 15 semillas de sorgo; de las plantas emergidas se eligieron 8, las cuales se dejaron crecer por 30 días, luego fueron extraídas en forma completa, secadas, pesadas y analizadas en el laboratorio. Una vez extraídas las plantas, los sustratos de los

tratamientos se sacaron de la maceta, se secaron y se tamizaron con el fin de sembrar en ellos nuevamente. Las hojas y raíces se analizaron separadamente; sin embargo, la estimación de absorción fue total. En total se sembraron 4 ciclos sucesivos (esto sobre la misma maceta para cada tratamiento), en el mismo pote que le fue asignado al inicio. Estos 4 ciclos corresponden con las épocas de muestreo, realizadas a los 30, 60, 90 y 120 días después de la primera siembra.

Análisis estadístico

En el bioensayo microbiano la variable de respuesta fue la biomasa microbiana y para el ensayo de invernadero se analizó la absorción de nutrimentos en la planta indicadora en mg/maceta⁻¹. Los datos fueron sometidos a un análisis de varianza con el programa SAS versión 1.1; a las medias se les aplicó la prueba de comparación múltiple Duncan. Se realizó correlaciones entre las diferentes metodologías de análisis utilizadas en este estudio.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis de la concentración total de nutrimentos

La concentración total de nutrimentos de los abonos estudiados, se presenta en el cuadro 2. Aunque se incluye las concentraciones de todos los elementos determinados, la discusión en este trabajo se centrará principalmente en N, P y K. Se encontró que en el caso del N, las concentraciones totales oscilaron de 0,9-2,12%. Con relación al P, la concentración más baja fue 0,36% y la más alta 3,02%. Las concentraciones de K estuvieron entre 0,94 y 2,21%. Lo anterior concuerda con otras investigaciones que muestran la variabilidad que se puede encontrar en el contenido total para este tipo de materiales (Guerrero 1993, Salas y Ramírez 1997b, Soto 2003, Durán y Henríquez 2007).

Paul y Clark (1996) proponen como aceptable un porcentaje superior a 2% para N y de 0,15-1,5% para P como un ámbito óptimo. Por

Cuadro 2. Concentraciones totales de nutrimentos de 4 abonos orgánicos.

Tratamiento	Porcentaje								mg.l ⁻¹			
	N	P	K	Ca	Mg	cenizas	C.O	C/N	Fe	Cu	Zn	Mn
MAT 1	2,12	3,02	2,21	6,10	1,30	20	26	12	4640	129	580	550
MAT 2	0,90	0,96	1,00	1,71	0,25	29	18	20	59400	129	105	710
MAT 3	1,56	1,75	0,94	4,06	0,30	25	27	18	30733	114	210	945
MAT 4	1,44	0,36	1,15	7,70	0,18	3	32	22	7455	17	19	114

otro lado, mencionan que el porcentaje de cenizas debe oscilar de 10-20%, la relación C/N debe ser <20 y la humedad no debe ser >40%. Pese a ello, Schweizer et al. (2003) mencionan que un abono orgánico no debe exceder el 2% de N, según información presentada en la etiqueta ecológica europea.

Se encontró que el vermicompost (MAT 1) fue el abono con contenidos más altos, no solo de N, sino también de P y K (Cuadro 2), lo cual difiere con lo reportado por Salas y Ramírez (1997b) para esta misma categoría de abono. Lo anterior se explica por la diferencia en la materia prima utilizada para elaborar ambos materiales, ya que en dicho estudio se menciona que el vermicomposte fue producido a partir de broza de café (Salas y Ramírez 1997b), en tanto que MAT 1 fue a partir de estiércol vacuno. Con relación al P, todos los materiales estuvieron por encima del límite inferior del valor tomado como aceptable por Paul y Clark (1996). Es importante mencionar que se encontraron abonos que en forma simultánea presentaron contenidos bajos de algún elemento en particular pero al mismo tiempo cantidades moderadas y altas de otros. Por ejemplo, el MAT 3 tuvo 0,94% de K (la concentración más baja) y 1,56% de N y 1,75 % de P (contenidos entre moderados y altos).

Otro aspecto interesante de los tratamientos MAT 2 y MAT 3, fue que a pesar de su similitud tanto en el proceso de fabricación como en las materias primas, mostraron diferencias importantes. Esto se hace más evidente en los contenidos de N y P. Los autores consideran que esto posiblemente se deba a la utilización de

diferentes proporciones en la materia prima, así como a cambios en el proceso. Lo anterior recalca la variabilidad existente en los contenidos de nutrimentos, aun en abonos orgánicos que pertenecen a la misma categoría, poniendo en evidencia la necesidad de más investigación sobre la caracterización de los materiales orgánicos utilizados, así como sobre los procesos para su fabricación.

Algunos autores señalan que el resultado de análisis de totales, no provee la información necesaria para conocer la disponibilidad de los nutrimentos; no siempre un abono que contenga más nutrimentos totales es el que los libera con más facilidad (Vandevivere y Ramírez 1995b). Pese a ello, la tendencia general es que los abonos orgánicos con altas concentraciones de nutrimentos tienen mayor posibilidad de aportar igualmente mayores cantidades de nutrimentos al sistema, luego de su descomposición (Bertsch 1998).

En forma adicional, se determinaron otros índices comúnmente utilizados para la caracterización de los abonos orgánicos, como son el porcentaje de cenizas y la relación C/N (Soto y Meléndez 2003). Como se puede observar en el cuadro 2, la mayoría de los materiales presentaron un porcentaje de cenizas fuera del ámbito considerado como normal por Paul y Clark (1996), el cual es de 10-20%. Generalmente, un abono con una mayor fracción mineral genera más cenizas, lo que ocurrió con los MAT 2 y MAT 3. Estos tuvieron porcentajes elevados de cenizas (29 y 25%, respectivamente) a pesar de que sus contenidos de P, K, y otros elementos fueron medios y bajos; este hecho se relacionó con la posible presencia de suelo en los materiales, lo cual se basa

en los vestigios de un residuo de apariencia rojiza luego de su incineración, que sugiere una posible contaminación con arcillas y sesquióxidos de Fe y Al. Lo anterior también es respaldado por las altas concentraciones de Fe total observadas en el cuadro 2.

Por otro lado, la relación C/N ha sido utilizada como un índice de la velocidad de descomposición del abono y la posterior mineralización de sus nutrientes. Day y Shaw (2001), proponen un valor de C/N entre 10 y 20 como aceptable para abonos orgánicos lo cual coincide con Paul y Clark (1996). Es de esperar que los tratamientos con relaciones C/N <10 permitan una mayor liberación de nutrientes que aquellos con valores >20 (Fassbender y Bornemisza 1987, Day y Shaw 2001, Dalzell et al. 1991). De los tratamientos utilizados en esta investigación solo el MAT 4, fabricado de pulpa de naranja, obtuvo un valor ligeramente >20 en C/N (Cuadro 2). El MAT 1 mostró una relación C/N baja, aún cuando se trata de un material humificado como el vermicompost. Como se verá más adelante, este material mostró patrones de liberación altos que se relacionaron igualmente con concentraciones altas de nutrientes, en particular de N.

Bioensayo microbiano

En el cuadro 3 se presentan los valores de respiración y biomasa microbiana para cada uno de los abonos. Según este cuadro, el tratamiento que presentó más respiración y biomasa fue el MAT 1, lo cual concordó también con sus concentraciones igualmente altas de nutrientes totales. Los datos encontrados para cada elemento pueden ser observados en los cuadros 4, 5 y 6.

Al relacionar las cantidades totales con las disponibles de N, P y K que fueron obtenidas en el bioensayo microbiano para cada abono con sus concentraciones totales (Cuadros 2 y 3), se procedió a calcular el porcentaje de disponibilidad a mediano plazo de esos elementos en los materiales. Los datos son presentados en los cuadros 4, 5 y 6 para N, P y K, respectivamente.

Merece la pena mencionar que aunque un abono orgánico tenga una alta concentración de nutrientes, cuando es referido en base seca, este contenido puede variar sustancialmente debido al contenido de humedad que tiene en su presentación comercial (30-60% y hasta más de 90% para materiales orgánicos frescos) (Alvarado y Briceño 2002, Schweizer et al. 2003). La humedad es por tanto, un factor que afecta las cantidades finales de elementos disponibles en el producto terminado, condición especialmente importante al momento de efectuar cálculos prácticos de aplicación. Por ejemplo, el MAT 1 reporta 21,2 kg totales de N.t⁻¹seca de abono, pero varía a 11,3 kg de N.t⁻¹ de material comercial, si se considera su contenido de humedad, que es de 47% (Cuadro 4).

Nitrógeno (N)

De la misma forma que sucedió con la concentración total de nutrientes, se encontró una amplia variación en el porcentaje de disponibilidad de N, lo cual se repite para los casos de P y K. Dichos porcentajes de disponibilidad en base seca oscilaron entre 12 y 29%.

Al igual que ocurrió con el análisis de totales, el tratamiento MAT 1 fue el que obtuvo el mayor valor de acuerdo al método de bioensayo

Cuadro 3. Respiración y biomasa microbiana de los tratamientos según el bioensayo microbiano.

Tratamiento	Respiración mg CO ₂ .100 g ⁻¹	Biomasa microbiana mg C microbiana.g ⁻¹ abono seco
MAT 1	4,9	3,66 a
MAT 2	1,1	0,8 c
MAT 3	2,4	1,78 b
MAT 4	1,4	1,05 c

Cuadro 4. Nitrógeno disponible determinado mediante la relación entre el bioensayo microbiano y el contenido total del elemento.

Tratamiento	N total (%)	N total (kg.t ⁻¹ base seca)	N disponible (kg.t ⁻¹ base seca)	Disponibilidad de N (%)	Humedad (%)	N total (kg.t ⁻¹ producto)	N disponible (kg.t ⁻¹ producto)
MAT 1	2,1	21,2	6,1	29	47	11,3	3,3
MAT 2	0,9	9,0	1,4	15	43	5,1	0,8
MAT 3	1,6	15,6	3,0	19	50	7,8	1,5
MAT 4	1,4	14,4	1,8	12	14	12,4	1,5

microbiano. Asimismo, este tratamiento presentó, como se observa en el cuadro 4, una amplia diferencia en los demás parámetros (porcentaje de disponibilidad, contenidos y disponibilidad por tonelada comercial) con respecto a los tratamientos restantes. Le siguieron MAT 3, MAT 4 y MAT 2.

Ciertos materiales mostraron más kilogramos disponibles de N por tonelada seca que otros, pero presentaron un menor porcentaje de disponibilidad del elemento. Un ejemplo lo constituyen MAT 2 y MAT 4, en donde el primero tuvo 1,4 kg de N disponibles con un 15% de disponibilidad, mientras que MAT 4 tuvo 1,8 kg de N disponibles con 12% de disponibilidad (Cuadro 4).

Fósforo (P)

Para el caso particular del P, el MAT 4 produjo un desvío importante en la tendencia encontrada para los otros materiales, los cuales tuvieron porcentaje de disponibilidad <10. Así, el porcentaje de disponibilidad para P varió de 6-23% (Cuadro 5). A pesar de ello, su repercusión en los valores de kg.t⁻¹ de P disponible no fue tan marcada como para N (diferencias de 0,6-2,8 kg.t⁻¹ en base seca).

Como se observa en los cuadros 2 y 5, el tratamiento que mostró la mayor cantidad de P total fue nuevamente el MAT 1, aunque su porcentaje de disponibilidad no fue necesariamente el mayor. Aún así, la elevada concentración del elemento hizo que este tratamiento resultara ser el de mayor cantidad en kg.t⁻¹ de P disponible. Esto concuerda con las buenas correlaciones encontradas entre estas 2 variables, aspecto que será discutido más adelante.

El MAT 4, que era el material con menor contenido de P total, presentó la disponibilidad más alta; esta característica tiene un impacto directo en la correlación negativa que se encontró en las correlaciones hechas con esta variable, aspecto que también será discutido más adelante.

Potasio (K)

El porcentaje de disponibilidad de K osciló entre 5 y 8%. Estos valores a criterio de los autores, resultan particularmente bajos para este elemento. Como se sabe, el K es un elemento que no está ligado a estructuras orgánicas en forma permanente (Bertsch 1998), por lo que a diferencia de lo mostrado en el cuadro 6, se esperaría que los porcentajes de disponibilidad determinados por el bioensayo microbiano fueran elevados, incluso mayores que para el N y el P, debido a la alta labilidad del elemento, lo cual no ocurrió. Se considera que este comportamiento se debió a que la disponibilidad de K puede ser alta, pero no está vinculada directamente con la actividad de los microorganismos, como si lo están el N y el P, por lo que la metodología del bioensayo microbiano no es un buen método para estimar la disponibilidad del K.

De acuerdo con este análisis, los valores de K disponibles a mediano plazo no sobrepasaron 2 kg.t⁻¹ en base seca para los materiales analizados (Cuadro 6). Como se verá más adelante estos resultados contrastan con las cantidades que fueron absorbidas por las plantas en el invernadero, donde el K fue uno de los elementos más absorbidos, evidenciando la subestimación de esta metodología con respecto a la disponibilidad real de K.

Cuadro 5. Fósforo disponible determinado mediante la relación entre el bioensayo microbiano y el contenido total del elemento.

Tratamiento	P total (%)	P total (kg.t ⁻¹ base seca)	P disponible (kg.t ⁻¹ base seca)	Disponibilidad de P (%)	Humedad (%)	P total (kg.t ⁻¹ producto)	P disponible (kg.t ⁻¹ producto)
MAT 1	3,0	30,2	2,8	9	47	16,0	1,5
MAT 2	1,0	9,6	0,6	6	43	5,4	0,3
MAT 3	1,8	17,5	1,4	8	50	8,8	0,7
MAT 4	0,4	3,6	0,8	23	14	3,1	0,7

Cuadro 6. Potasio disponible determinado mediante la relación entre el bioensayo microbiano y el contenido total del elemento.

Tratamiento	K Total (%)	K total (kg.t ⁻¹ base seca)	K disponible (kg.t ⁻¹ base seca)	Disponibilidad de K (%)	Humedad (%)	K total (kg.t ⁻¹ producto)	K disponible (kg.t ⁻¹ producto)
MAT 1	2,2	22,1	1,8	8	47	11,7	1,0
MAT 2	1,0	10,0	0,4	4	43	5,7	0,2
MAT 3	0,9	9,4	0,9	9	50	4,7	0,4
MAT 4	1,2	11,5	0,5	5	14	9,9	0,5

Con base en los resultados generados a partir del bioensayo microbiano (datos presentados en los cuadros 3, 4, 5 y 6), se puede decir que los abonos orgánicos aportan nutrientes al suelo de una forma limitada. Las cantidades totales que se logra adicionar por cada tonelada de abono orgánico son muy escasas y disminuyen aún más cuando se refiere a la cantidad real de nutrientes disponibles tomando en cuenta la humedad original del material (Dalzell et al. 1991). Esto explica la necesidad de aplicar grandes cantidades y en forma sostenida, para observar el efecto nutricional directo de su aplicación, aunque es posible también la inducción de la liberación de nutrientes de otras fracciones del suelo, esto como efecto indirecto. Por otro lado, tampoco los tratamientos con los mayores contenidos totales fueron siempre los que resultaron con los porcentajes más altos de disponibilidad, aunque como se dijo anteriormente, estos tienen más posibilidades de aportar mayores cantidades en forma proporcional. Todo esto refuerza la importancia de caracterizar cada producto y conocer mejor su comportamiento a nivel de campo.

Extracción de nutrientes con plantas indicadoras en invernadero

En el cuadro 7 se presenta los datos absolutos de absorción de N, P y K en mg por maceta con los abonos puros en cada uno de los 4 ciclos de evaluación, así como el total y el porcentaje a que equivale esta cantidad en términos del total que había disponible en la maceta. Como se observó con los otros análisis, también se presentaron diferencias importantes en esta variable, lo cual concuerda con los resultados obtenidos por Salas y Ramírez (1997b). A diferencia de los resultados obtenidos en el análisis de totales y del bioensayo microbiano, en este caso el MAT 3 presentó los valores mayores de absorción de N, P y K, comparativamente a los otros abonos evaluados. Esto se relacionó con las mejores condiciones de crecimiento de las plantas, cuando fueron sembradas en este material, debido a sus buenas propiedades físicas y de humedad. Pese a lo anterior, los valores de absorción en las siguientes cosechas no fueron comparables a la primera. Pareciera que la disponibilidad de

Cuadro 7. Absorción de N, P y K en 4 abonos orgánicos en condiciones de invernadero con utilización de los abonos puros como sustratos.

	Elementos absorbidos (mg)					Disponibilidad (% del total)
	30 días	60 días	90 días	120 días	Total	
Nitrógeno N						
MAT 1	137,1	197,7	140,8	64,6	537,2	10,1
MAT 2	202,6	51,5	48,9	42,0	344,7	15,3
MAT 3	409,4	67,1	66,1	28,1	570,7	14,6
MAT 4	10,4	24,5	47,9	74,8	157,5	4,4
Fósforo P						
MAT 1	24,9	56,8	33,1	22,7	137,4	1,8
MAT 2	47,9	14,2	6,4	7,3	75,7	3,2
MAT 3	131,8	17,7	12,2	10,1	171,8	3,9
MAT 4	1,3	0,5	3,0	3,0	7,8	0,9
Potasio K						
MAT 1	244,6	430,7	208,4	160,6	1044,4	18,9
MAT 2	591,4	165,9	95,2	68,1	920,6	36,8
MAT 3	821,8	146,0	114,5	76,5	1158,8	49,3
MAT 4	24,6	6,6	52,7	99,6	183,5	6,4

% del total: proviene de la relación entre la sumatoria y la cantidad de nutrimento contenido en el abono orgánico colocado inicialmente en la maceta.

nutrimentos disminuyó drásticamente luego de los primeros 30 días.

De acuerdo con los datos presentados en el cuadro 7, los porcentajes de disponibilidad según el método de extracción en invernadero, variaron de 4,4-15,3% para N, 0,9-3,9% para P y 6,4-49,3% para K. Para este último, se considera que los valores son más congruentes con la naturaleza y la dinámica del elemento, comparado con los encontrados en la metodología del bioensayo microbiano.

Debido a lo novedoso de esta metodología, se considera que un aspecto que debe tomarse en cuenta, con relación a la utilización del abono en forma pura en ensayos con macetas, es que en algunas ocasiones podría presentarse poco crecimiento de las plantas, lo cual podría deberse a un alto contenido de sales, inmadurez del abono o malas propiedades físicas, y no necesariamente

a que los abonos posean o no altas cantidades de nutrimentos (Sullivan y Miller 2001).

En la figura 1, se presenta los patrones de liberación obtenidos a partir de los valores de N, P y K absorbidos o extraídos bajo condiciones controladas de invernadero. Aunque los valores encontrados para los diferentes abonos utilizados fueron muy variables, en resumen los patrones de liberación (cantidad que la planta pudo absorber del total) no sobrepasaron 16% para N, 4% para P y 50% para K. En términos de la liberación del K, el valor obtenido en esta prueba bajo condiciones de invernadero, refleja el verdadero comportamiento del elemento, si se compara con el obtenido en el ensayo microbiano.

Correlaciones entre metodologías

En el cuadro 8 se presenta las correlaciones encontradas entre las diferentes metodologías

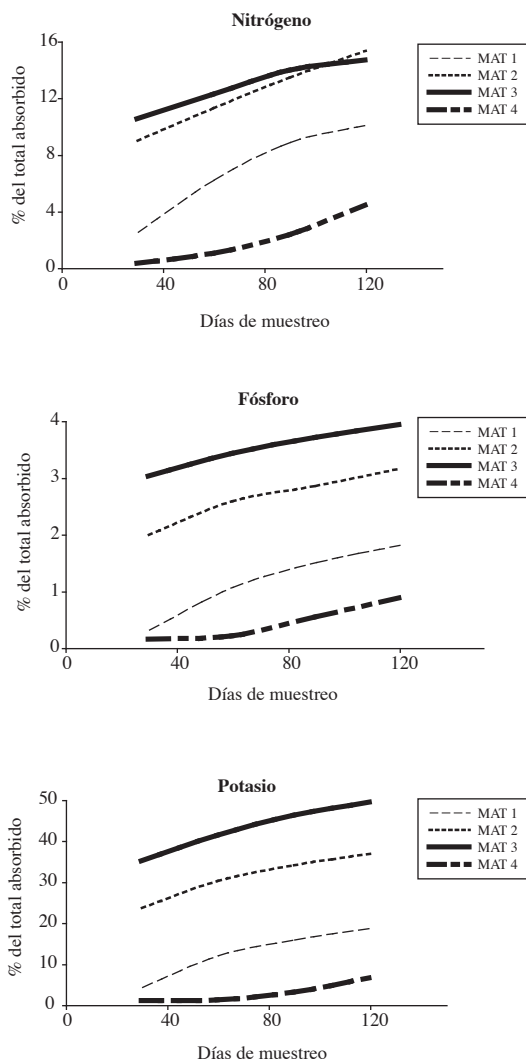


Fig. 1. Patrones de liberación de N, P y K de 4 abonos orgánicos a partir de la cantidad absorbida en referencia al contenido total inicial.

utilizadas en este trabajo, así como algunos otros índices derivados (porcentajes de liberación). Es importante recalcar la buena correlación encontrada entre la metodología de análisis de concentraciones totales y el bioensayo microbiano para los 3 elementos (columna 4 del cuadro 8). Lo anterior apoya el hecho de que los materiales con mayores concentraciones de nutrientes, tendrán un “almacén” mayor, y consecuentemente una mayor respuesta de crecimiento de microorganismos. Sin embargo, debido al número reducido de abonos evaluados en este estudio, no se puede asegurar que este comportamiento sea general para todos los abonos orgánicos; por lo que es importante respaldar este análisis con otros índices de caracterización de los abonos.

Por otro lado, el análisis de extracción en condiciones de invernadero, solo correlacionó con los análisis de totales y con el bioensayo microbiano cuando se usaron los datos de mezcla abono-suelo (columna 3). De acuerdo con los datos presentados, la variable porcentaje de disponibilidad a partir del bioensayo microbiano, presentó las mejores relaciones con N, baja correlación con K y negativa con P (columna 7).

En este caso es importante resaltar la correlación negativa encontrada con el P (Cuadro 8), esto debido a que en el caso particular del MAT 4, se encontró bajos contenidos totales del elemento, en comparación con los otros tratamientos; sin embargo, en contraposición, su disponibilidad con el bioensayo microbiano fue muy alta (23%, en el cuadro 5). Esto produjo sin duda, que en el análisis de correlación se obtuvieran específicamente para el elemento P, valores de coeficientes de correlación negativos. Este impacto fue mayor en la matriz de correlación, al ser pocos tratamientos.

Cuadro 8. Correlaciones de Pearson entre las 3 metodologías utilizadas y las variables derivadas para N, P y K en 4 abonos orgánicos.

Variables							
Nitrógeno N							
	mg totales	mg Absor Puro	mg Absor Mezcla	Mg Bioensayo	% Absor Puro	% Absor Mezcla	% bio del total
% N total	1**	0,5	0,79	0,93 *	-0,33	0,29	0,83
mg totales		0,5	0,79	0,93 *	-0,33	0,29	0,83
mg Absor Puro			0,73	0,65	0,64	0,71	0,77
mg Absor Mezcla				0,96 **	0,16	0,81	0,99 **
mg Bioensayo					-0,06	0,62	0,97 **
% Absor Puro						0,6	0,15
%Absor Mezcla							0,78
Fósforo P							
	mg totales	mg Absor Puro	mg Absor Mezcla	Mg Bioensayo	% Absor Puro	% Absor Mezcla	% bio del total
% P total	1 **	0,78	0,97 *	0,95 *	0,16	0,85	-0,55
mg totales		0,78	0,97 *	0,95 *	0,16	0,85	-0,55
mg Absor Puro			0,6	0,57	0,7	0,57	-0,77
mg Absor Mezcla				0,96 *	-0,03	0,89	-0,45
mg Bioensayo					-0,16	0,72	-0,25
% Absor Puro						0,2	-0,82
%Absor Mezcla							-0,72
Potasio K							
	mg totales	mg Absor Puro	mg Absor Mezcla	mg Bioensayo	% Absor Puro	% Absor Mezcla	% bio del total
% K total	1 **	0,19	0,88	0,91 *	-0,45	0,32	0,33
mg totales		0,19	0,88	0,91 *	-0,45	0,32	0,33
mg Absor Puro			0,63	0,46	0,79	0,98 **	0,66
mg Absor Mezcla				0,92 *	0,002	0,74	0,54
mg Bioensayo					-0,13	0,54	0,68
% Absor Puro						0,69	0,43
%Absor Mezcla							0,62

*significativo ($p < 0,05$).**altamente significativo ($p < 0,01$).

mg totales: corresponde a la cantidad total proveniente del abono.

mg Absor Puro: cantidad absorbida por la planta indicadora en macetas con abono orgánico puro en 4 ciclos.

mg Absor Mezcla: cantidad absorbida por la planta indicadora en macetas con mezcla abono-suelo en 4 ciclos.

mg bioensayo: cantidad disponible estimada por el bioensayo microbiano.

% Absor Puro: proporción del total que fue absorbida por la planta en las macetas con abono orgánico puro.

% Absor Mezcla: proporción del total que fue absorbida por la planta en las macetas con mezcla abono-suelo.

% Bio del total: proporción del total que es estimado disponible por el bioensayo microbiano.

CONCLUSIONES

Resultado de la comparación entre las 3 metodologías evaluadas, es importante hacer notar que el análisis de contenidos totales sigue siendo un referente en cuanto a la riqueza total de los materiales y representa en forma potencial un índice de disponibilidad de nutrimentos.

LITERATURA CITADA

- ALVARADO G., BRICEÑO J. 2002. Metodologías recomendadas para el análisis de abonos orgánicos, pp. 89-94. In: J. Briceño, F. Chaverri, G. Alvarado, A. Gadea. *Materia orgánica: características y uso de los insumos en suelos de Costa Rica*. EUNA, Costa Rica.
- ANDERSON J., DOMSCH K. 1978. A physiological method for the quantitative measurement of microbial biomass in soils. *Soil Biology and Biochemistry* 10:215-221.
- ANDERSON T., DOMSCH K. 1989. Ratios of microbial biomass carbon total organic carbon in arable soils. *Soil Biology and Biochemistry* 21(4):471-479.
- BERTSCH F. 1998. *La fertilidad de los suelos y su manejo*. ACCS, Costa Rica. 157 p.
- BERTSCH F. 2003. Abonos orgánicos: manejo de la fracción orgánica y de los aspectos biológicos del suelo, p. 133. In: G. Meléndez, E. Molina (eds). *Fertilizantes: características y manejo*. ACCS, Costa Rica.
- CASTELLANOS J., PRATT P. 1981. Mineralization of manure nitrogen-correlation with laboratory indexes. *Soil Science Society of America Journal* 45:354-357.
- CHENG W., COLEMAN D. 1989. A simple method for measuring CO₂ in a continuous airflow system: modifications to the substrate-induced respiration technique. *Soil Biology and Biochemistry* 21 (3):385-388.
- DALZELL H., BIDDLESTONE A., GRAY K., THURAIRAJAN K. 1991. Manejo del suelo: producción y uso del composte en ambientes tropicales y subtropicales. *FAO Boletín de Suelos*. 175 p.
- DAY M., SHAW K. 2001. Biological, chemical and physical processes of composting, pp. 18-22. In: P. Stofella y B. Kahn (eds). *Compost utilization in horticultural cropping systems*. Lewis, U.S.A.
- DURÁN L., HENRÍQUEZ C. 2007. Caracterización química, física y microbiológica de vermicompostes producidos a partir de cinco sustratos orgánicos. *Agronomía Costarricense* 31(1):41-51.
- EVANYLO G., SHERONY C., SPARGO J., STARNER D., BROSIUS M., HAERING K. 2008. Soil and water environmental effects of fertilizer-manure-, and compost-based fertility practices in an organic vegetable cropping system. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 127:50-58.
- FASSBENDER H., BORNEMISZA E. 1987. *Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina*. 2 ed. San José, Costa Rica. IICA. 420 p.
- GUERRERO J. 1993. *Abonos orgánicos: Tecnología para el manejo ecológico de suelos*. RAAA. Perú. 89 p.
- HARTZ T., MITCHELL J., GIANNINI C. 2000. Nitrogen and carbon mineralization dynamics of manures and compost. *HortScience* 35(2):209-212.
- HENRÍQUEZ C., CABALCETA G. 1999. *Guía práctica para el estudio introductorio de los suelos con un enfoque agrícola*. ACCS, Costa Rica. 112 p.
- KASS D. 1998. *Fertilidad de suelos*. J. Núñez (ed). UNED. Costa Rica. pp. 100-103.
- MELÉNDEZ G. 2003. Fracción orgánica del suelo: residuos orgánicos y materia orgánica del suelo, p. 1. In: G. Soto, G. Meléndez, L. Uribe. (eds). *Abonos orgánicos: principios, aplicaciones e impacto en la agricultura*. San José, Costa Rica.
- PAUL E., CLARK F. 1996. *Soil microbiology and biochemistry*. 2 ed. Academic. 340 p.
- POWLSON D.S., BROOKES P.C., CHRISTENSEN BT. 1987. Measurement of soil microbial biomass provides an early indication of changes in total soil organic matter due to straw incorporation. *Soil Biology and Biochemistry* 19(2):159-164.
- SALAS E., RAMÍREZ C. 1997a. Bioensayo microbiano para estimar los nutrimentos disponibles en los abonos orgánicos: Calibración en el campo. *Agronomía Costarricense* 25(2):11-23.
- SALAS E., RAMÍREZ C. 1997b. Determinación de N y P en abonos orgánicos mediante la técnica del elemento faltante y un bioensayo microbiano. *Agronomía Costarricense* 25(2):25-35.

- SATCHELL J. 1974. Litter- interface of animate/inanimate matter, pp. 24-25. In: C.H. Dickinson y G.J. Pugh (eds). *Biology of plant litter decomposition*. Academic Press, Gran Bretaña.
- SCHWEIZER S., VARGAS A., SALAS E. 2003. Caracterización de diferentes compost utilizando técnicas físicas, químicas y biológicas, pp. 66-67. In: G. Soto, P. Descamps (eds). *Memoria del I Encuentro Mesoamericano y del Caribe y III Encuentro Costarricense de Agricultores Experimentadores e Investigadores en producción orgánica*. Edit del Norte, Costa Rica.
- SOTO G. 2003. Abonos orgánicos: definiciones y procesos, pp. 27-33. In: G. Soto, G. Meléndez, L. Uribe. (eds). *Abonos orgánicos: principios, aplicaciones e impacto en la agricultura*. CIA, Costa Rica.
- SOTO G., MELÉNDEZ G. 2003. Indicadores químicos de calidad de abonos orgánicos, p. 59. In: G. Soto, G. Meléndez, L. Uribe (eds). *Abonos orgánicos: principios, aplicaciones e impacto en la Agricultura*. CIA, Costa Rica.
- SULLIVAN D., MILLER R. 2001. Compost quality attributes, measurements and variability, pp. 108-112. In: P. Stofella y B. Kahn (eds). *Compost utilization in horticultural cropping systems*. Lewis, USA.
- VANDEVIVERE P., RAMÍREZ C. 1995a. Control de calidad de los abonos orgánicos por medio de bioensayos, pp. 121-140. In: J. A. García, J. Nájera (eds). *Simposio Centro Americano Sobre Agricultura Orgánica*. UNED. Costa Rica.
- VANDEVIVERE P., RAMÍREZ C. 1995b. Microorganismos y nutrientes en abonos orgánicos: Bioensayo microbiano para determinar los nutrientes disponibles en abonos orgánicos. *Boletín Técnico de la Estación Experimental Fabio Baudrit M.* 28(2):90-96.

