

## CAPACIDAD DE SUPLEMENTO DE NUTRIENTES DE LOS FERTILIZANTES ORGANICOS

Carlos Henríquez<sup>1</sup>, Andrina Castro<sup>2</sup> y Floria Bertsch<sup>3</sup>

**PALABRAS CLAVE:** Suplemento de nutrientes, abonos orgánicos, bioensayo microbiano, análisis total de nutrientes, extracción de nutrientes en invernadero.

### RESUMEN

Se estudió la capacidad de suplemento de N, P y K de cuatro abonos orgánicos. Para ello se utilizaron tres tipos de análisis que fueron: concentración total de nutrientes, bioensayo microbiano y extracción de nutrientes con cultivo sucesivo en invernadero. Este último se realizó con los abonos puros así como mezclados en proporción suelo:abono de 4:1. Los materiales utilizados fueron un vermicompost (de estiércol de ganado vacuno) y tres compostes (fabricados con cachaza de caña de azúcar, broza de café y pulpa de naranja). Los resultados de las concentraciones totales oscilaron entre 0.9 a 2.12% para N, de 0.36 a 3.02% y de 0.94 a 2.21% para K. Con el bioensayo microbiano se encontró que los porcentajes de biodisponibilidad a 3 meses plazo fueron de 12 a 30% para N, 6 a 23% para P y 5 a 9% para K. Se considera que esta metodología subestima la disponibilidad para este último elemento tomando en cuenta la naturaleza y dinámica del K a nivel de suelo y planta, aunque sí predice adecuadamente la disponibilidad de N y P. Se encontró que de acuerdo al método de extracción de nutrientes en invernadero con los abonos puros, los porcentajes de disponibilidad variaron entre 4,4 a 15,3% para N, 0,9 a 3,9% para P y 6,4 a 49,3% para K. Se encontró una alta correlación entre las metodologías de análisis de totales y el bioensayo microbiano. También se encontró buena correlación entre estos dos métodos y el ensayo de extracción en invernadero cuando se utilizaron los abonos orgánicos mezclados con suelo, pero no así con los materiales puros. Los resultados de este trabajo aportan con la ayuda de tres diferentes metodologías, un verificación cuantitativa de la disponibilidad de N, P y K a partir de abonos orgánicos, que sin pretender ser definitivas, al menos presentan valores que podrían ser utilizados como referencia para futuros trabajos.

### INTRODUCCION

El beneficio de los abonos orgánicos ha sido relacionado principalmente al mejoramiento de los suelos. Una de las principales preguntas que siempre se ha generado con respecto a ellos, es sobre su capacidad de suplemento de nutrientes a los cultivos. Se sabe que esta característica depende no solo de las propiedades del material y del proceso de fabricación utilizado, sino también de las condiciones imperantes en que el abono orgánico es colocado en el campo para su posterior descomposición (Meléndez, 2003; Bertsch, 2003; Vandevivere y Ramírez, 1995a).

Aunque la mineralización de los abonos orgánicos, no es el único proceso de transformación de estos materiales que ocurre en el suelo, sí es uno de los más importantes al tomar en consideración su impacto sobre el mantenimiento de los sistemas agroproductivos (Fassbender y Bornemisza, 1987; Bertsch, 2003).

Se sabe que la disponibilidad de nutrimentos a partir de los abonos orgánicos es baja y variable, si se compara con la que tienen los fertilizantes minerales. Su disponibilidad no es inmediata debido a que se requiere su previa mineralización, la cual puede variar entre semanas, para materiales frescos como la gallinaza, hasta varios meses como ocurre con compost estabilizado. Tal mineralización está

<sup>1</sup> Datos parciales de la Tesis de Licenciatura de la segunda Autora. Proyecto VI-510-A4-609 financiado por la Vicerrectoría de Investigación y del fondo FR-261 de la Universidad de Costa Rica. Ha sido presentado para su publicación a la revista *Agronomía Costarricense*. Correo electrónico: [carlos.henriquez@ucr.ac.cr](mailto:carlos.henriquez@ucr.ac.cr)

<sup>2</sup> Sede del Atlántico y Centro de de Investigaciones Agronómicas, Universidad de Costa Rica

<sup>3</sup> Centro de Investigaciones Agronómicas, Universidad de Costa Rica.

controlada en parte por la humedad, temperatura, textura y mineralogía del suelo, así como por la calidad de los materiales incorporados, cantidad agregada y forma de aplicación (Guerrero, 1993). Aún así la mineralización no es el cien por ciento (Fassbender y Bornemisza, 1987; Soto, 2003).

Cuando estos nutrimentos quedan finalmente mineralizados, estos pueden ser inmovilizados por los microorganismos, acomodados dentro de estructuras húmicas o bien adsorbidas por los coloides y dependiendo de las situaciones imperantes, algunas formas podrían ser lixiviadas (Satchell 1974).

El N proveniente de las sustancias húmicas es bastante estable en comparación con el N de las fracciones no humificadas (Hartz et al., 2000). Se supone que el N biológicamente activo en el suelo es el producido por la hidrólisis en medios ácidos, la cual puede extraer el 50-65% del N de los ácidos húmicos (Kass, 1998). El N orgánico ejemplifica cómo los nutrimentos contenidos en la materia orgánica se van liberando paulatinamente durante la descomposición, ya que este elemento se mineraliza primero en forma de amonio y pasa luego a nitratos (Castellanos y Pratt, 1981). Estas formas son las determinadas por el análisis de suelos y que se ha tomado en algunos casos como un índice de disponibilidad. Pese a ello, este valor es una estimación puntual y no representa el potencial total del material, sobre todo bajo condiciones tropicales (Fassbender y Bornemisza, 1987).

En el caso del P, luego de la mineralización de los compuestos orgánicos, éste puede ser retenido por compuestos orgánicos en forma más o menos reversible, similar a la reacción del P que proviene de fertilizantes industriales (Rodríguez, 1996). Cuando el P es adsorbido por sustancias húmicas se reconocen dos fracciones de P de gran importancia para las plantas: *a*) el P adsorbido por reacciones que lo mantienen en equilibrio con la concentración de P en la disolución de suelo. *b*) el P precipitado el cual está formado por compuestos relativamente insolubles. Su transferencia hacia la solución del suelo es muy bajo, sin embargo, puede pasar a ser disponible por mineralización de las sustancias húmicas, pero a diferencia con el N no hay una activación tan eficiente en el proceso. El K por otro lado, ha sido un elemento que tradicionalmente se ha definido como poco ligado 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, el más utilizado es el análisis de contenido de nutrimentos totales, el cual brinda una aproximación de la riqueza total de nutrientes de un material orgánico, sin embargo las concentraciones resultantes no necesariamente son las cantidades que están disponibles para las plantas ya que no indica el plazo dentro del cual se liberarán los nutrientes (Meléndez, 2003). Otras metodologías como son los bioensayos, han sido también propuestos para este fin (Vandevivere y Ramírez, 1995a; Schweizer et al., 2003). Se han propuesto el uso de pruebas biológicas para evaluar la capacidad de suplemento de los abonos orgánicos. La mejor prueba debe involucrar el crecimiento de plantas indicadoras en el sustrato orgánico, aunque este análisis resulta poco práctico para su uso rutinario porque requiere de meses para realizarse (Vandevivere y Ramírez, 1995a y 1995b; Alvarado y Briceño, 2002). Este trabajo tuvo como objetivo determinar la capacidad de suplemento de N, P y K de cuatro abonos orgánicos a través de las metodologías de análisis de totales, bioensayo microbiano y extracción bajo invernadero.

### MATERIALES Y METODOS

Las materiales o abonos orgánicos utilizados en este estudio fueron:

1. MAT 1: Vermicompost fabricado de estiércol de ganado vacuno
2. MAT 2: Compost A fabricado de broza de café y cachaza de caña de azúcar
3. MAT 3: Compost B fabricado de broza de café y cachaza de caña de azúcar
4. MAT 4: Compost C fabricado de pulpa naranja

El estudio de la capacidad de suplemento de nutrientes de cuatro abonos orgánicos se realizó a través de tres ensayos de laboratorio e invernadero los cuales fueron:

1. Análisis de contenido total de nutrientes
2. Bioensayo microbiano
3. Extracción de nutrientes con planta indicadora en invernadero

A continuación se describen los procedimientos utilizados:

### **Análisis de contenido total de nutrientes**

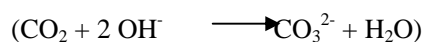
Para la cuantificación total de nutrimentos, los materiales fueron analizados químicamente en el Laboratorio de Suelos y Foliareos del Centro de Investigaciones Agronómicas de la Universidad de Costa Rica. Se aplicó la metodología de análisis de totales por digestión húmeda (Henríquez y Cabalceta, 1999). La metodología que se utilizó fue a través de la digestión del material con ácido nítrico y en un microondas (CEM modelo MARS 5) y en un autoanalizador para el caso 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 determinaron en un espectrofotómetro de plasma (PERKIN ELMER modelo Optima 3300RL). Con esta metodología se cuantifica el P, K, Ca, Mg, Fe, Cu, Zn y Mg total de los sustratos. El N se cuantificó en un autoanalizador 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 N<sub>2</sub> para su posteriormente cuantificación.

### **Bioensayo microbiano**

El análisis se llevó a cabo en el Laboratorio del Centro de Investigaciones en Protección de Cultivos (CIPROC) de la Facultad de Agronomía en la Universidad de Costa Rica. El bioensayo microbiano mide el nivel a través de la respiración generada, la actividad de los microorganismos que se desarrollan en los abonos orgánicos, y en forma indirecta genera un indicador de la riqueza nutricional de éstos. En otras palabras, mientras más crecimiento microbiano permita un sustrato, mayor es su reserva de nutrientes (Salas y Ramírez, 1997a). Posteriormente y con la aplicación de factores específicos para N, P y K, es posible calcular la cantidad de nutrimentos disponibles a corto y mediano plazo en el abono orgánico. El parámetro utilizado para medir dicho crecimiento fue el CO<sub>2</sub> emanado por la respiración de las poblaciones crecidas en cada tratamiento. Vandevivere y Ramírez (1995a) mencionan que mientras más CO<sub>2</sub> se produce, mayor es la riqueza microbiológica del material y consecuentemente mayor su calidad suplementaria de nutrientes. La biomasa microbiana fue estimada con el “Método de Respiración Inducida por un Sustrato” (RIS) de Anderson y Domsch (1978), con las modificaciones realizadas por Cheng y Coleman (1989).

Los materiales se mezclaron con suelo en una proporción de 9 partes de suelo por 1 de abono (peso seco:peso seco) en un erlenmeyer con capacidad para 1 litro. A la mezcla de suelo y abono se le incorporó glucosa y agua hasta humedad aproximada a Capacidad de Campo. El trapeo y la posterior titulación de muestras, se realizó con hidróxido de sodio (0.05M), ácido clorhídrico (0.15-0.18M) y cloruro de bario (0.2N) respectivamente (Salas y Ramírez, 1997b; Vandevivere y Ramírez, 1995a; Anderson y Domsch, 1978). Las muestras fueron colocadas seguidamente en oscuridad y a temperatura ambiente por 48 horas. Esto se conoce como período de incubación donde se logra un máximo de actividad y reproducción de los microorganismos nativos, los cuales crecerán de acuerdo a la cantidad de nutrimentos disponibles en el sustrato ya que la fuente de energía es abundante. La respuesta respiratoria es medida como evolución de CO<sub>2</sub> (Anderson y Domsch, 1978 y 1989). Transcurridas las 48 horas, Vandevivere y Ramírez (1995b) sugieren que la población microbiana nativa ya alcanzó el pico de crecimiento posible en cada abono. Posterior a la incubación, mediante el método de Respiración Inducida por un Sustrato (RIS), se determina la biomasa microbiana a través de la circulación de aire libre de CO<sub>2</sub> a través de cada erlenmeyer para arrastrar hacia las trampas únicamente el CO<sub>2</sub> proveniente de la respiración en las muestras. Luego de la hora de trapeo, se trasvasa cuantitativamente el contenido de las trampas a erlenmeyers pequeños de 125 mL y se

adicionan 6 mL de cloruro de bario (0.2 N) y tres gotas de fenolftaleína como indicador de pH. El BaCl<sub>2</sub> se utiliza para precipitar el carbonato que se formó de la unión del CO<sub>2</sub> con la base NaOH. Tiene lugar la siguiente reacción:



Cuando el CO<sub>2</sub> reacciona con el NaOH se forma un carbonato de sodio que no es visible pero al adicionarle el BaCl<sub>2</sub> se forma el precipitado de carbonato de bario, BaCO<sub>3</sub>. Al formarse ese precipitado carbonatado se evitan posibles pérdidas de CO<sub>2</sub> de la muestra hacia el ambiente durante la titulación con ácido. Cuando una muestra tiene elevadas poblaciones microbiales produce más CO<sub>2</sub>. Mientras más CO<sub>2</sub> haya en el aire que proviene de los frascos y que burbujea dentro de la trampa, más NaOH se neutraliza y en la reacción se produce más carbonato; de esta forma cuando se agrega BaCl<sub>2</sub> se produce mayor cantidad de precipitado blanquecino que en comparación con una muestra baja en biomasa microbiana y que respiró poco. Luego se titula el NaOH de las trampas con HCl de concentración conocida (alrededor de 0.15 - 0.18 M) hasta que la sustancia cambie de color púrpura a transparente (Salas y Ramírez, 1997a).

Para obtener el valor de la Biomasa Microbiana BM, se realizaron los siguientes cálculos:

$$\text{BM} = \text{mL HCl}_{(\text{blanco})} - \text{mL HCl}_{(\text{mezcla})} * [\text{HCl}] * 6 * 2 * 0.75.$$

Se explican a continuación el término y unidades de cada denominativo:

(mL de HCl consumidos en la titulación de erlenmeyer vacío “blanco”- mL de HCl consumidos en la titulación del erlenmeyer con la mezcla “suelo+abono”)\* molaridad conocida del HCl\* 6 (mg CO<sub>2</sub>-C/meq de H+)/ 1 hora de burbujeo \* 2 para obtener mg CO<sub>2</sub> -C/h 100g de mezcla seca. Este último valor se multiplican por 0.75 que es un factor de conversión de Anderson y Domsch (1978) para pasar los datos a Biomasa Microbiana en términos de mg Cmic, Carbono microbiano/g mezcla. Se obtienen estos valores de biomasa para los tratamientos suelo+abono y para el suelo sólo. La biomasa que se produce en el suelo debe ser restada de la biomasa producida en la mezcla para obtener el valor de la biomasa que es aportada únicamente por el abono. Así, las unidades de la biomasa microbiana para el abono serán mg Cmic/g abono y no de mezcla. Con este dato es posible calcular la cantidad de nutrimentos que está disponible a corto plazo, aproximadamente en dos meses. Debido a estimaciones propuestas por Powelson et al. (1987) y Anderson y Domsch (1989), en las bacterias las concentraciones de N, P y K son 6, 13 y 20 veces menores, respectivamente, que las concentraciones de C. Así, el C microbiano del abono se divide entre 6, 13 y 20 para obtener los mg disponibles de N, P y K en 0.1 g de abono seco. Se habla de 0.1 g de abono y no de 1 g como se mencionó en la ecuación anterior, debido a que cuando se preparó la mezcla de los tratamientos suelo+abono, la mezcla fue hecha en proporción 9:1, el abono constituyó la décima parte de la mezcla, es decir, 0.1 g.

Para convertir los datos de N, P y K generados anteriormente en unidades de mm/0.1 g de abono ó 100 mg de abono, a Kg de elemento/ton seca de abono, se multiplica por 10. Este resultado podría ser una subestimación si existen cantidades mayores de las necesarias de un elemento respecto al elemento limitante pues el crecimiento microbiano y su actividad, al igual que la dinámica de todo ser vivo, es dependiente del elemento limitante (Salas y Ramírez, 1997a; Vandevivere y Ramírez, 1995b).

Tomando en cuenta la humedad de cada abono probado, se calculó cuántos Kg de N, P y K se encuentran disponibles en una tonelada real de cada abono, es decir, en la forma tal y como es producida, pues una tonelada de abono comercial puede contener contenidos apreciables de humedad. Comparando los Kg totales/ton reportados por el análisis de totales contra los Kg disponibles/ton

reportados por el bioensayo microbiano, se calculó el índice de disponibilidad de éstos tres elementos contenidos en los sustratos.

**Extracción de nutrientes bajo 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 durante cuatro ciclos de 30 días cada uno y 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 dos modalidades: utilizando el abono orgánico en forma pura y en mezcla con suelo. Para el primer caso, se ajustó la cantidad de abono orgánico utilizada a una cantidad homogénea de 250 g en su base seca para todos los materiales. La Tabla 2 resume en la columna titulada como “Ajuste a 250g secos”, la cantidad que finalmente fue tomada de cada uno de los materiales para llenar los potes.

**Tabla 1.** Ajuste de peso para el llenado de los potes realizado según el % 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 la modalidad de abono orgánico en mezcla con suelo, se utilizó una proporción de 100 gr de abono orgánico en su base seca con 300 gr de suelo, para un total de 400 gr. El resto de las determinaciones fue similar para ambas modalidades.

Los tratamientos fueron replicados cuatro veces y fueron dispuestos en un diseño irrestricto al azar en condiciones de invernadero. 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 de lo cual 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. Se sembraron 4 ciclos sucesivos sobre la misma maceta de cada tratamiento, siempre respetando que cada tratamiento conservara el pote que le fue asignado al inicio. Estos 4 ciclos equivalieron a las épocas de muestreo, realizados 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. En el ensayo de invernadero, por su parte, las variables de respuesta que se analizaron fueron la absorción de nutrimentos encontradas en la planta indicadora. Para lograr una comparación efectiva, la biomasa fue

analizada en mg/planta, mientras que con la extracción se analizaron los datos producidos en mg de nutrimento/maceta (todas las plantas). Los datos fueron sometidos a un análisis de varianza en el programa SAS versión 1.1, el cual realizó una prueba de comparación múltiple (Duncan) entre promedios de tratamientos. Se realizaron correlaciones entre las diferentes metodologías de análisis utilizadas en este estudio.

**RESULTADOS Y DISCUSION**

**Análisis de la concentración total de nutrientes**

Los resultados obtenidos para este análisis (Tabla 1), mostraron una gran variación en las cantidades de nutrimentos totales entre los abonos utilizados; resultados similares han sido obtenidos por otros investigadores (Salas y Ramírez, 1997b; Soto, 2003; Durán y Henríquez, 2007). Aunque la Tabla 1 se incluye las concentraciones de todos los elementos determinados, la discusión en este trabajo se centrará principalmente en N, P y K. De esta manera se encontró que, en el caso del N, las concentraciones totales oscilaron entre 0.9% y 2.12%. Con relación al P, la concentración más baja fue de 0.36% y la más alta fue 3.02%. Las concentraciones de K estuvieron entre 0.94% y 2.21 %. Lo anterior concuerda con otras investigaciones que muestran esta misma variabilidad (Guerrero, 1993; Durán y Henríquez, 2007).

**Tabla 1.** Concentraciones totales de nutrientes en 4 abonos orgánicos.

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

Se encontraron materiales con muy bajos contenidos en algún elemento particular pero con cantidades moderadas y altas en 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 entre los materiales utilizados).

Paul y Clark (1996), proponen como aceptables para N un porcentaje superior al 2%, y para P un ámbito óptimo de 0.15-1.5%. Por otro lado mencionan que el porcentaje de cenizas debe oscilar entre 10-20%, la relación C/N menor de 20 y la humedad no debe sobrepasar el 40%. Pese a ello, Schweizer y otros (2003), mencionan que en conformidad con la etiqueta ecológica europea, un abono orgánico no debe exceder el 2% de N.

Se encontró que el vermicompost (MAT 1) fue el abono con más altos contenidos no sólo en N, sino también en P y K (Tabla 1), 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 fuente utilizada para elaborar ambos materiales ya que en dicho estudio, se menciona que el vermicompost fue producido a partir de broza de café (Salas y Ramírez, 1997b), en tanto que MAT 1 lo fue a partir de estiércol vacuno. Con relación a P, todos los materiales estuvieron por encima del límite inferior del valor tomado como aceptable por Paul y Clark (1996).

Un aspecto importante de mencionar fueron las diferencias en los contenidos de nutrimentos entre los tratamientos MAT 2 y MAT 3, a pesar de las similitudes en el proceso de fabricación y en las fuentes utilizadas. Estas diferencias se hacen más evidentes 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 el proceso mismo. Todo lo anterior recalca la amplia variabilidad existente

en los contenidos de nutrientes aún 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 de los procesos para su fabricación.

Por otro lado, algunos autores señalan que el resultado de análisis de totales no provee la información necesaria para conocer la disponibilidad de los nutrimentos, en vista de que no siempre un abono que contenga más nutrimentos totales es el que los libera con más facilidad (Vandevivere y Ramírez, 1995b). Pese a ello es un hecho que los abonos orgánicos con altas concentraciones de nutrimentos tienen mayor posibilidad de aportar igualmente mayores cantidades de nutrientes, luego de su descomposición.

Además de los contenidos de nutrimentos, 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 la Tabla 1, la mayoría de los materiales presentaron % de cenizas fuera del ámbito considerado como normal por Paul y Clark (1996) el cual es entre 10 y 20%. Generalmente un abono con mayor proporción de fracción mineral genera más cenizas, lo que ocurrió con MAT 2 y MAT 3. Estos tuvieron % elevados de cenizas (29 y 25% respectivamente) a pesar de que sus contenidos de P, K y otros elementos fueron medios y bajos, sin embargo este hecho se relacionó a la presencia de suelo en los materiales (vestigios de residuo de apariencia rojiza lo cual sugiere una posible contaminación con arcillas y sesquióxidos de hierro y aluminio). Lo anterior es respaldado por las altas concentraciones de Fe total observados en el Tabla 1.

La relación C/N ha sido utilizada como un índice de la velocidad de descomposición del abono y la posterior mineralización de sus nutrimentos. 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 inferiores a 10 permitan una mayor liberación de nutrientes que aquellos con valores mayores a 20 (Day y Shaw, 2001). Tanto el C como el N son elementos esenciales en el proceso del compostaje debido a que el C es fuente de energía y material para nuevas células, junto a un suministro de N para proteínas (Dalzell et al., 1991). De los tratamientos utilizados en esta investigación sólo el MAT 4, fabricado de pulpa de naranja, obtuvo un valor ligeramente superior a 20 en C/N (Tabla 1).

El MAT 1 mostró una relación C/N baja aún cuando se trata de un vermicompost, material en teoría altamente humificado (Tabla 1). Como se verá más adelante, el material mostró patrones de liberación altos que se relacionaron igualmente con concentraciones altas de nutrientes, en particular de N.

### **Bionensayo Microbiano**

La Tabla 2 muestra la sumatoria de los porcentajes totales biodisponibles de N, P y K encontrados con la técnica del bioensayo microbiano; también se presentan los valores de respiración y biomasa microbiana. Según la segunda Tabla, el tratamiento que presentó más respiración y biomasa fue MAT 1, lo cual concordó también con sus concentraciones igualmente altas de nutrientes totales. A partir del dato de la biomasa microbiana y dividiendo entre los factores 6, 13 y 20 para N, P y K respectivamente, se obtuvieron las cantidades proyectadas como disponibles a mediano plazo (3 meses) de estos elementos (Vandevivere y Ramírez, 1995a; Salas y Ramírez, 1997a). Los datos encontrados para cada elemento pueden ser observados en las Tablas 3, 4 y 5.

**Tabla 2.** Sumatoria del % de N, P y K biodisponibles del total, respiración y biomasa microbiana de los tratamientos según el bioensayo microbiano.

Tratamiento	Σ%total NPK	Respiración *	Biomasa Microbial**
MAT 1	7.35	4.9	3.66 a
MAT 2	2.86	1.1	0.8 c
MAT 3	4.25	2.4	1.78 b
MAT 4	2.95	1.4	1.05 c

\* mg CO<sub>2</sub>/100 g secos

\*\* mg Cmic /g seco. Biomasa microbiana = Respiración \* 0.75

Al relacionar las cantidades disponibles de N, P y K que fueron obtenidas en el bioensayo microbiano (Tabla 2) con sus concentraciones totales (Tabla 1), se procedió a calcular el porcentaje de disponibilidad a mediano plazo de esos elementos en los materiales; adicionalmente se tomó en cuenta la humedad contenida en cada uno de los tratamientos con lo cual fue posible calcular los kg totales y disponibles a mediano plazo que hay realmente por tonelada de producto comercial, datos que son presentados igualmente en las Tablas 3, 4 y 5.

Hay que recordar que un abono podría tener una alta concentración de nutrimentos cuando es referido en base seca, pero se sabe que todo abono orgánico contiene un cierto grado de humedad que puede variar entre un 30 y un 60% (Schweizer et al., 2003) y hasta más de 90% para materiales orgánicos frescos (Alvarado y Briceño, 2002). 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 es un abono que reporta 21.2 Kg totales de N por tonelada seca de abono, sin embargo, al considerar el contenido de agua (47%), este valor se transforma en tan sólo 11.3 Kg de N por tonelada de material comercial (Tabla 3).

### Nitrógeno

Al igual que ocurrió con el análisis de totales, el tratamiento MAT1 fue el que obtuvo el mayor valor utilizando el método de Bioensayo Microbiano. Asimismo este tratamiento presentó, como se observa en el Tabla 3, una amplia diferencia en los demás parámetros (% de disponibilidad, contenidos y disponibilidad por tonelada comercial) con respecto a los tratamientos restantes. Le siguieron MAT3, MAT 4 Y MAT 2.

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

**Tabla 3.** N disponible determinado mediante la relación entre el bioensayo microbiano y el contenido total del elemento.

Tratamiento	Totales		Disponibles*	
	% Total	Kg/ton base seca	Kg/ton base seca	% Disponible
MAT 1	2,1	21,2	6,1	29
MAT 2	0,9	9,0	1,4	15
MAT 3	1,6	15,6	3,0	19
MAT 4	1,4	14,4	1,8	12

\*disponible según bioensayo microbiano



Ciertos materiales mostraron más Kg disponibles de N por tonelada seca que otros, pero presentaron un menor % 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 un 12% de disponibilidad (Tabla 3).

**Fósforo**

Para el caso del P también se encontraron de acuerdo a esta metodología, grandes variaciones en el % de disponibilidad. Estos % de disponibilidad oscilaron entre 6 y 23% (Tabla 4). A pesar de ello, su repercusión en los valores de Kg por tonelada de P disponible no fue tan fuerte como lo fue para N (diferencias de 0.6 a 2.8 Kg/ton).

**Tabla 4.** P disponible determinado mediante la relación entre el bioensayo microbiano y el contenido total del elemento.

Tratamiento	Totales		Disponibles	
	% Total	Kg/ton base seca	Kg/ton base seca	% Disponible
MAT 1	3,0	30,2	2,8	9
MAT 2	1,0	9,6	0,6	6
MAT 3	1,8	17,5	1,4	8
MAT 4	0,4	3,6	0,8	23

\*disponible según bioensayo microbiano

Como se observa en las Tablas 1 y 4, el tratamiento que mostró la mayor cantidad de P total fue el MAT 1, sin embargo su porcentaje de disponibilidad no fue necesariamente el mayor. Aún cuando esto ocurrió, la elevada concentración del elemento hizo que este tratamiento resultara ser el de mayor cantidad en Kg/ton de P disponible, lo cual concuerda con las buenas correlaciones encontradas entre estas dos variables, aspecto que será discutido más adelante. Llamó la atención el caso del MAT 4 que presentó el menor contenido de P pero la mayor disponibilidad.

**Potasio**

El % de disponibilidad del K según la metodología del bioensayo microbiano, osciló entre un 5 y 8%, valores que 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 la Tabla 5, se hubiese esperado que los porcentajes de disponibilidad determinados por el bioensayo microbiano fuesen elevados, incluso mayores que para el N y el P, lo cual no ocurrió. Los autores consideran que este comportamiento se debe a que su disponibilidad no está vinculada directamente con la actividad de los microorganismos.

**Tabla 5.** K disponible determinado mediante la relación entre el bioensayo microbiano y el contenido total del elemento.

Tratamiento	Totales		Disponibles	
	% Total	Kg/ton base seca	Kg/ton base seca	% Disponible
MAT 1	2,2	22,1	1,8	8
MAT 2	1,0	10,0	0,4	4
MAT 3	0,9	9,4	0,9	9
MAT 4	1,2	11,5	0,5	5

\*disponible según bioensayo microbiano

De acuerdo con este análisis, los valores de K disponibles a mediano plazo no sobrepasaron 2 Kg/ton en base seca para los materiales analizados (Tabla 5). 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.

En resumen, se puede decir que con base en los resultados generados a partir del bioensayo microbial (presentados en las Tablas 2, 3, 4 y 5), los abonos orgánicos pueden contribuir a la reserva de nutrimentos que tiene el suelo pero de una forma limitada. Las cantidades totales que se logran adicionar por cada tonelada de abono orgánico son muy escasas y disminuyen aún más cuando se refiere a la cantidad real de nutrimentos disponibles tomando en cuenta la humedad original del material (Dalzell et al., 1991). Esto indica la necesidad de grandes cantidades y en forma sostenida para observar el efecto de su aplicación.

Con base en los resultados anteriormente expuestos, se encontró también que no necesariamente el tratamiento que tenga más N será también el que suministre más P y K disponibles a mediano plazo. Por otro lado, tampoco los tratamientos con los mayores contenidos totales fueron los que resultaron con los más altos porcentajes de disponibilidad, aunque como se dijo anteriormente, tienen más posibilidades de aportar mayores cantidades en forma proporcional.

### Extracción de nutrientes con plantas indicadoras en invernadero

En la Tabla 6 se presentan los datos absolutos de absorción de N, P y K en mg por maceta con los abonos puros en cada uno de los cuatro 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 mayores valores de absorción de N, P y K, comparativamente a los otros abonos evaluados. Esto se relaciona a las mejores condiciones de crecimiento en este material.

**Tabla 6.** Absorción de N, P y K en mg por maceta en cuatro abonos orgánicos bajo condiciones de invernadero con utilización de los abonos puros como sustratos.

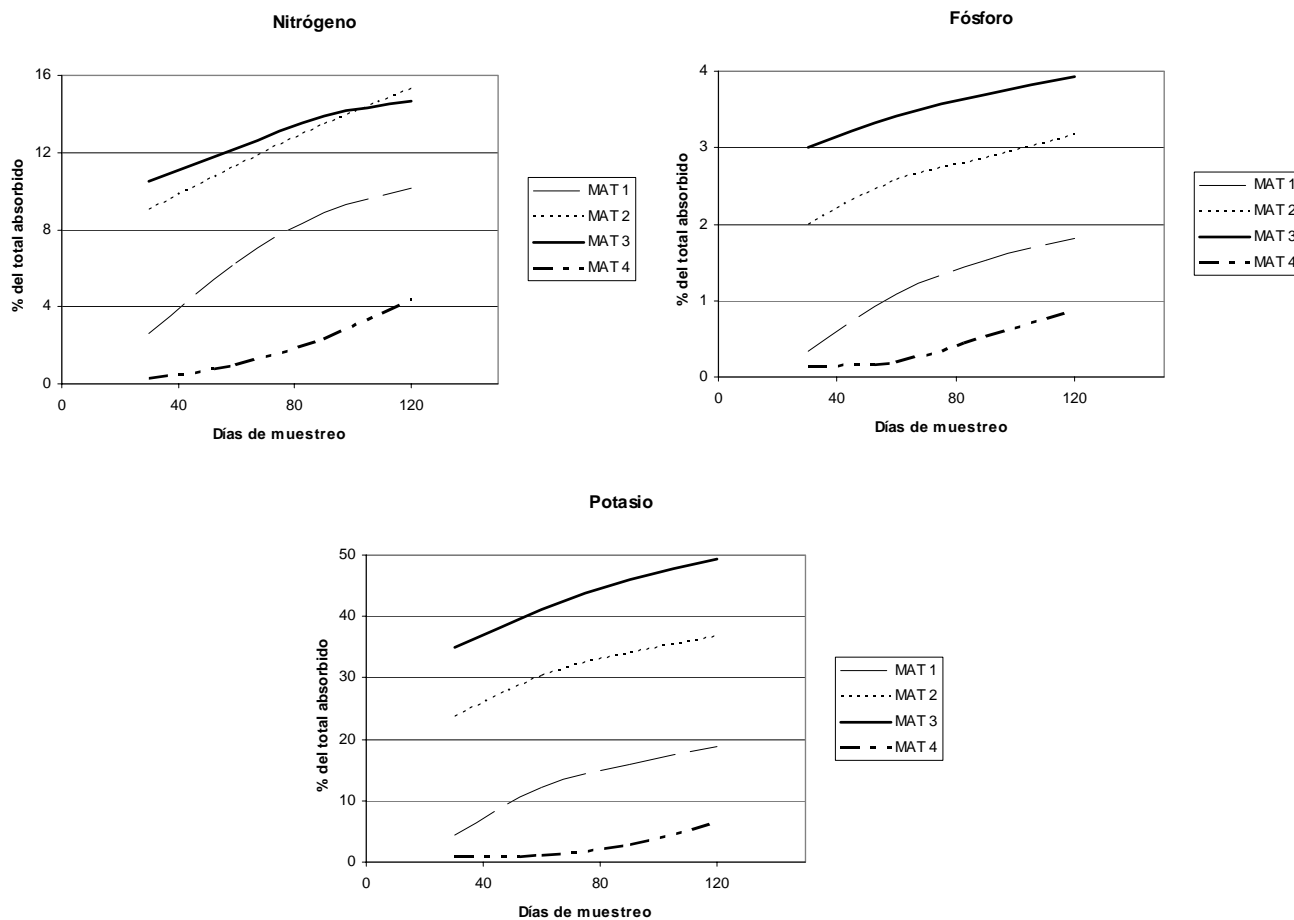
	mg de elementos absorbidos por maceta durante el período					% del total
	30 días	60 días	90 días	120 días	sumatoria	
<b>Nitrógeno</b>						
MAT 1	137,1	194,7	140,8	64,6	537,2	10,1
MAT 2	202,6	51,5	48,6	42,0	344,7	15,3
MAT 3	409,4	67,1	66,1	28,1	570,7	14,6
MAT 4	10,4	24,5	47,9	74,8	157,5	4,4
<b>Fosforo</b>						
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
<b>Potasio</b>						
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 nutriente contenido en el abono orgánico colocado inicialmente en la maceta.

Según los datos presentados en la Tabla 6, los porcentajes de disponibilidad según el método de absorción o extracción en invernadero, variaron de 4,4 a 15,3% para N, 0,9 a 3,9% para P y 6,4 a 49,3% para K. En este último caso, el K presentó valores más congruentes que los encontrados con la metodología del Bioensayo Microbiano (datos presentados en la Tabla 5).

Los autores consideran que un aspecto a tomar en cuenta con relación a la utilización del abono en forma pura en ensayos con macetas, es que esta metodología parte del hecho de que los sustratos utilizados permiten el crecimiento normal y óptimo de las plantas indicadoras en el mismo; este aspecto no siempre se cumple ya que puede presentarse que el sustrato presente algunas características negativas como alto contenido de sales, inmadurez del abono o malas propiedades físicas, por citar algunos ejemplos que podrían afectar el crecimiento óptimo de la planta indicadora (Sullivan y Miller, 2001).

En la Figura 1, se presentan los patrones de liberación obtenidos a partir de los valores de N, P y K absorbidos o extraídos bajo condiciones controladas de invernadero. Estos reflejan en cierta forma la dinámica que podría observarse a nivel de campo.



**Figura 1.** Patrones de liberación de N, P y K con la utilización del ensayo de extracción bajo condiciones de invernadero en cuatro abonos orgánicos y la utilización del material en forma pura como sustrato.

El la Tabla 6 presenta las correlaciones encontradas entre las diferentes metodologías utilizadas en este trabajo, así como algunos otros índices derivados, como fueron los porcentajes de liberación. Es importante recalcar la buena correlación encontrada entre la metodología de análisis de concentraciones totales y el bioensayo microbiano para los tres elementos (Columna 4 de la Tabla 6). El análisis de extracción bajo condiciones de invernadero, sólo correlacionó con los análisis de totales y bioensayo, cuando se usaron los datos de mezcla abono-suelo. De acuerdo a los datos presentados, la variable % de disponibilidad a partir del bioensayo microbiano, presentó las mejores relaciones con N.

En resumen, si se desea obtener un efecto fertilizante positivo en forma rápida mediante la aplicación de un determinado abono orgánico, no sólo se debe considerar la cantidad total de nutrimentos que el material posee, sino que también es importante tomar en cuenta su capacidad de liberarlos en el tiempo.

**Tabla 6.** Correlaciones de Pearson con las variables evaluadas a través de las tres metodologías y variables derivadas para N, P y K en cuatro abonos orgánicos.

**Nitrógeno**

	mg totales	mg Abs Puro	mg Absor Mezcla	mg Bioensayo	% Absor Puro	%Absor Mezcla	% bio del total
% N total	1**	0,5	<b>0,79</b>	<b>0,93 *</b>	-0,33	0,29	<b>0,83</b>
mg totales		0,5	<b>0,79</b>	<b>0,93 *</b>	-0,33	0,29	<b>0,83</b>
mg Absorbidos			<b>0,73</b>	<b>0,65</b>	<b>0,64</b>	<b>0,71</b>	<b>0,77</b>
mg Absor mezcla				<b>0,96 **</b>	0,16	<b>0,81</b>	<b>0,99 **</b>
mg Bioensayo					-0,06	<b>0,62</b>	<b>0,97 **</b>
% Absor del total						<b>0,6</b>	0,15
%Absor Mezcla							<b>0,78</b>

**Fósforo**

	mg totales	mg Abs Puro	mg Absor Mezcla	mg Bioensayo	% Absor Puro	%Absor Mezcla	% bio del total
% P total	1 **	<b>0,78</b>	<b>0,97 *</b>	<b>0,95 *</b>	0,16	<b>0,85</b>	-0,55
mg totales		<b>0,78</b>	<b>0,97 *</b>	<b>0,95 *</b>	0,16	<b>0,85</b>	-0,55
mg Absorbidos			0,6	0,57	<b>0,7</b>	0,57	-0,77
mg Absor mezcla				<b>0,96 *</b>	-0,03	<b>0,89</b>	-0,45
mg Bioensayo					-0,16	<b>0,72</b>	-0,25
% Absor del total						<b>0,2</b>	-0,82
%Absor Mezcla							-0,72

**Potasio**

	mg totales	mg Abs Puro	mg Absor Mezcla	mg Bioensayo	% Absor Puro	%Absor Mezcla	% bio del total
% K total	1 **	0,19	<b>0,88</b>	<b>0,91 *</b>	-0,45	0,32	0,33
mg totales		0,19	<b>0,88</b>	<b>0,91 *</b>	-0,45	0,32	0,33
mg Abs puro			<b>0,63</b>	0,46	<b>0,79</b>	<b>0,98 **</b>	<b>0,66</b>
mg Absor mezcla				<b>0,92 *</b>	0,002	<b>0,74</b>	0,54
mg Bioensayo					-0,13	0,54	<b>0,68</b>
% Absor Puro						<b>0,69</b>	0,43
%Absor Mezcla							<b>0,62</b>

\*significativo (p<0.05)

\*\* altamente significativo ( p<0.01)

**mg Totales:** corresponde a la cantidad total proveniente del abono

**mg Abs Puro:** cantidad absorbida por la planta indicadora en macetas con abono orgánico puro en cuatro ciclos

**mg Abs Mezcla:** cantidad absorbida por la planta indicadora en macetas con mezcla abono-suelo en cuatro ciclos

**mg Bioensayo:** cantidad estimada por ensayo de bioensayo microbiano

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

**% Absor Mezcla:** proporción del total que fue abosrbida 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

Los resultados de este trabajo aportan con la ayuda de tres diferentes metodologías, un verificación cuantitativa de la disponibilidad de N, P y K a partir de abonos orgánicos, que sin pretender ser definitivas, al menos presentan valores que podrían ser utilizados como referencia para futuros trabajos. Para futuros estudios se recomienda utilizar una mayor cantidad de abonos, así como estudiar la dinámica de su descomposición en diversas condiciones agroclimáticas.

## BIBLIOGRAFIA

- Alvarado, G. y J. Briceño. 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. y K. Domsch. 1978. A physiological method for the quantitative measurement of microbial biomass in soils. *Soil Bio. Biochem.*10: 215-221.
- Anderson, T. y K. Domsch. 1989. Ratios of microbial biomass carbon total organic carbon in arable soils. *Soil Biology and Biochemistry* G.B. 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. y P. Pratt. 1981. Mineralization of manure nitrogen-correlation with laboratory indexes. *Soil Science Society of America Journal*. 45: p 354-357.
- Cheng, W. y D. Coleman. 1989. A simple method for measuring CO<sub>2</sub> in a continuous airflow system: modifications to the substrate-induced respiration technique. *Soil Bio. Biochem.* 21 (3): 385-388.
- Durán, L. y C. Henríquez. 2007. Caracterización química, física y microbiológica de vermicompostes producidos a partir de cinco sustratos orgánicos. *Agronomía Costarricense* 31(1):41-51.
- Dalzell, H. y A. Biddlestone, K. Gray, K. Thurairajan. 1991. Manejo del suelo: producción y uso del composte en ambientes tropicales y subtropicales. *FAO Boletín de Suelos*. 175 p.
- Day, M. y K. Shaw. 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.
- Fassbender, H. y E. Bornemisza. 1987. *Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina*. 2 ed. San José, Costa Rica. IICA. 420 pp.
- Guerrero, J. 1993. *Abonos orgánicos: Tecnología para el manejo ecológico de suelos*. RAAA. Perú. 89 p.
- Hartz, T., J. Mitchell y C. Giannini. 2000. Nitrogen and carbon mineralization dynamics of manures and compost. *HortScience* 35 (2): p 209-212.
- Henríquez, C. y G. Cabalceta. 1999. *Guía práctica para el estudio introductorio de los suelos con un enfoque agrícola*. ACCS, Costa Rica. 112 p.

- Durán, L. y C. Henríquez. 2007. Caracterización química, física y microbiológica de vermicompostes producidos a partir de cinco sustratos orgánicos. *Agronomía Costarricense* 31(1):41-51.
- Kass, D. 1998. Fertilidad de suelos. J. Núñez (ed). UNED. Costa Rica. p 100-103.
- Meléndez, G. 2003. Fracción Orgánica del Suelo: Residuos Orgánicos y Materia Orgánica del Suelo, p1. *In: G. Soto; G. Meléndez; L. Uribe. (eds). Abonos Orgánicos: Principios, aplicaciones e impacto en la agricultura. San José, Costa Rica.*
- Paul, E. y F. Clark. 1996. *Soil Microbiology and Biochemistry*. 2<sup>nd</sup> ed. Academia Press. 340p.
- Powelson, D.S., P.C. Brookes, y B.T. Christensen. 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*. G.B 19 (2): 159-164.
- Rodríguez, F. 1996. Fertilizantes: Nutrición vegetal. AGT. México. p 39.
- Salas, E. y C. Ramírez. 1997a. Bioensayo microbiano para estimar los nutrimentos disponibles en los abonos orgánicos: Calibración en el campo. *Agronomía Costarricense* 25(2): 11-23.
- Salas, E. y C. Ramírez. 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., A. Vargas, y E. Salas. 2003. Caracterización de diferentes compost utilizando técnicas físicas, químicas y biológicas, pp 66-67. *In: G Soto y 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. y G. Meléndez. 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. y R. Miller. 2001. Compost quality attributes, measurements and variability, pp 108-112. *In: P. Stofella y B. Kahn (eds). Compost utilization in horticultural cropping systems. LEWIS, U.S.A.*
- Vandevivere, P. y C. Ramírez. 1995a. Control de calidad de los abonos orgánicos por medio de bioensayos, pp 121 -140. *In: Simposio Centro Americano Sobre Agricultura Orgánica J. A. García, J. Nájera (eds). UNED. Costa Rica.*
- Vandevivere, P. y C. Ramírez. 1995b. Microorganismos y nutrimentos en abonos orgánicos: Bioensayo microbiano para determinar los nutrimentos disponibles en abonos orgánicos. *Boletín Técnico de la Estación Experimental Fabio Baudrit M. 28(2) .San José, Costa Rica. P90-96.*