

Cuantificación de tres microorganismos en el proceso y dinámica de los abonos orgánicos fermentados (aof)

Por: **GARCIA, Francisco**¹,
GIL, Pila²,
GALVIS, Luis³,
GALINDO, William⁴

Resumen

En la actualidad la fabricación de abonos orgánicos (aof) ha adquirido gran importancia debido a la necesidad de adicionar materia orgánica para mejorar condiciones del suelo y fuentes de nutrientes inorgánicos para las plantas. La calidad de los aof se mide a través de diferentes métodos: composición química, actividad enzimática, procesos de mineralización, humificación y poblaciones microbianas entre otros. En la pila la preparación presenta ambientes óxicos y anóxicos que tienen porcentaje de humedad, pH y temperatura diferentes, lo que implica que las poblaciones microbianas corresponden a estos ambientes así como a las materias primas incluidas (de origen orgánico e inorgánico), en el proceso. Resultan, en consecuencia, nuevas moléculas producto de la fermentación de estos materiales. Debido a los volteos que se deben dar para homogenizar el material, estos ambientes se ven alterados por lo que cambian las condiciones abióticas para las poblaciones, las cuales fueron medidas en el núcleo y la corteza en tres estratos diferentes. La cuantificación de microorganismos fijadores de nitrógeno (MFN), microorganismos solubilizadores de fósforo (MSF) y microorganismos sulfato reductores (MSR) (durante el proceso y al final del mismo) permitió establecer que los MFN muestran los niveles más altos.

Palabras clave: Sulfato reductores, fijadores de nitrógeno, solubilizadores de fósforo, aeróbico, anaeróbico.

Abstract

Organic fertilizers manufacture has currently taken a great importance due to the need to add organic matter to improve soil conditions, and inorganic nutrient sources for plants. The quality of the AOF is measured by different variables: chemical composition, enzymatic activity, mineralization and humus-making processes, and microbial populations, among others; the preparation shows oxic and anoxic environments with different moisture percentage, pH and temperature, which means that microbial populations correspond to these environments as well as to the raw materials (from both organic and inorganic origin) included in the process. Consequently, new molecules are produced by these materials' fermentation. These environments get altered due to the turn-overs needed to homogenize the material so the abiotic conditions for the populations change. These populations were measured in the nucleus and the crust, in three different strata.

The quantification of nitrogen-fixers microorganisms (MFN), phosphorus solvent (SPS) and sulfate reducer (MSR), both during and at the end of the process, allowed to determine that MFN show the highest populations while the other populations evaluated are not relevant.

Keywords: Sulfate reducers, nitrogen fixers, phosphorus solvent, aerobic, anaerobic.

¹M.Sc(c) en Ciencias Agrarias, Esp. en Gerencia Agraria, Ingeniero Agrónomo UPTC. Docente JDC. e-mail: jfgm29@hotmail.com

²Agrozootecnista, Tecnóloga en Producción Agraria JDC, e-mail: capigiga@hotmail.com

³Ingeniero Agropecuario JDC. e-mail: fertitodotibana@hotmail.com

⁴Ingeniero Agropecuario JDC. e-mail: wigabo@hotmail.com

INTRODUCCIÓN

La producción agrícola requiere el suministro de enmiendas o fertilizantes que provean nutrientes a las plantas. La nutrición vegetal está basada en la absorción de iones disponibles en la solución del suelo. Los elementos provienen de moléculas orgánicas e inorgánicas generando en el suelo dinámicas de mineralización, solubilización e inmovilización donde participan microorganismos que segregan las enzimas correspondientes en cada caso.

En el país existe interés por la fabricación de aof utilizando para ello diferentes fuentes de materias primas de origen vegetal o animal. Cada una tiene sus propias características y provoca diferentes reacciones en la descomposición, así como cambios de olor, color, aspecto y tiempos de mineralización dependiendo de la relación C/N del compuesto original. Estas mezclas repercuten en la composición del producto final porque las moléculas orgánicas se desnaturalizan y se generan subproductos que pueden reaccionar formando otros compuestos

En trabajos anteriores García *et al.* (2006) encontraron que cuando se estabiliza un aof a temperatura ambiente, humedad del 20%, C/N del 15%, CO del 12%, los elementos disponibles y unidades formadoras de colonia (UFC/g) de poblaciones microbianas no muestran relación directa puesto que los aof contienen bajos porcentajes de N, P, K, Ca, Mg y S; pero si tienen poblaciones importantes de UFC/g de bacterias Fijadores de Nitrógeno (MFN) y celulolíticos, algunos Solubilizadores de Fosfatos (MSF) y muy escasas de Sulfato Reductores (MSR).

La importancia de MFN de vida libre en el aof y el suelo, radica en la reducción de nitrógeno de su forma N² en la atmósfera a amonio. De otra parte, la mineralización o amonificación de las proteínas fuentes de nitrógeno en el abono y sus derivados, los ácidos nucleicos y compuestos aromáticos ocurre cuando se degradan hasta N a través de reacciones hidrolíticas, en las cuales por acción de las enzimas, se forman compuestos macromoleculares sobre los que actúan posteriormente los microorganismos dependiendo del ambiente al cual estén sometidos como lo indica la tabla 1. Así mismo, en la materia orgánica existen varias clases de proteínas solas o combinadas (lipoproteínas, glucoproteínas y nucleoproteínas) y para su descomposición se requieren enzimas segregadas por organismos especializados como bacterias (*Bacillus*, *Bacterium*, *Pseudomonas*, *Proteus*); hongos (*Trichoderma*, *Penicillium*, *Mucor*, *Aspergillus*, *Alternaria* y *Cladosporium*) y algunos actinomicetos que producen proteínas extracelulares (Coyne, 2000; Atlas y Bartha, 1998; Mayea *et al.*, 1989; Burbano, 1989);

En general, las bacterias que realizan la respiración anóxica poseen sistema de transporte de electrones con citocromos, quinonas, ferrosulfoproteínas y otras proteínas conductoras de electrones. Por tanto, sus sistemas respiratorios son análogos a los de los óxicos convencionales (Madigan *et al.* 2004).

De acuerdo con Burbano (1989), el N presente en un sustrato se ve sometido a una serie de transformaciones en las que juega un papel importante tanto la población heterotrófica como la población quimioautotrófica. Los procesos de mineralización-inmovilización afianzan las transformaciones globales del elemento en el suelo; en tanto que reacciones específicas como la amonificación, nitrificación y desnitrificación, explican cambios o pasos parciales en la dinámica del N.

Tabla 1. Ambiente de fermentación y productos generados en diferentes moléculas orgánicas e inorgánicas.

Producto	Aeróbico	Anaeróbico
Proteína, aminoácidos azufrados y aromáticos	Amoniaco, anhídrido carbónico, agua, sulfato y ácido sulfúrico	Amoniaco, agua, anhídrido carbónico, mercaptanos, indol y escatol
Aminoácidos de las cadenas grasas, ácido acético, propiónico, valerámico y butírico.	Anhídrido carbónico, agua y amoniaco	Alcohol, metano
Ácido fosfórico, ortofosfato H ₃ PO ₄		Fosfito H ₃ PO ₃ , hipofosfito H ₃ PO ₂ , fosfamina H ₃ P
Cisteína, cistina, metionina	Disulfóxidos de cistina, ácido cisteínico, sulfónico, sulfato, ácido sulfinico, sulfito, ácido pirúvico	Sulfuros, ácido sulfhídrico, mercaptano, metilmercaptano

Fuente: Adaptado de Mayea *et al.*, 1989

En los aof se registra pH entre 8 a 8.7 ambientes, donde según lo reporta Campbell 2001, *Nitrosomonas* oxidan amonio a nitrito, tomando el ión amonio y la hidroxilamina que no está ionizada y llevándola a nitrito en presencia nitroxilo y nitroxilamina, así como citocromos y flavoproteínas que permiten la oxidación de hidroxilamina. Luego el *Nitrobacter* oxida el nitrito a nitrato, en un sólo paso, con oxígeno molecular como el último aceptor de electrones mediado por un sistema de citocromos y produciendo ATP. *Nitrosomonas* y *Nitrobacter* no realizan nitrificación en pH menor a 6. Trabajos anteriores han reportado, de manera cuantitativa, UFC/g de Fijadores de Nitrógeno en los abonos orgánicos fermentados de manera cuantitativa, pero no se han identificado mostrando poblaciones hasta 64x10⁵ UFC/g.

Al igual que los compuestos nitrogenados, los fosfatos insolubles son llevados a la planta en formas disponibles por microorganismos de especies como



De otra parte, la descomposición de fuentes orgánicas de fósforo como nucleoproteidos y lecitina se ve favorecida por altas temperaturas y pH alrededor de la neutralidad.

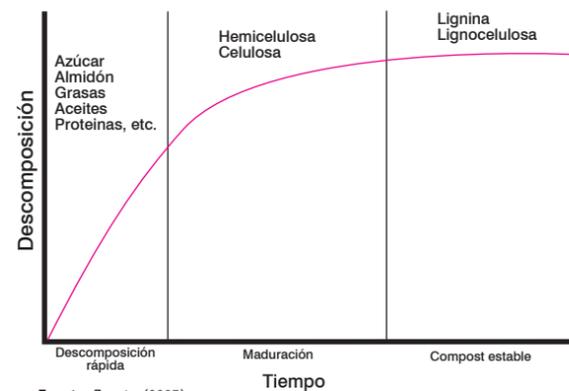
Pseudomonas, *Microbacterium*, *Micrococcus*, *Flavobacterium*, *Penicillium Sclerotium*, *Aspergillus* entre otros: estos, crecen en un medio con fosfato de calcio, apatito y otras formas insolubles; la vía de solubilización principal es la producción de ácidos orgánicos (glucónico, málico, succínico), así como los ácidos nítrico y sulfúrico. La actividad de solubilización del fósforo es mayor a medida que aumenta la actividad biológica por medio de la producción de CO₂ en el sustrato. De otra parte, la descomposición de fuentes orgánicas de fósforo como nucleoproteidos y lecitina se ve favorecida por altas temperaturas y pH alrededor de la neutralidad; pero la mineralización del fósforo depende de la síntesis de fitasa, que producen algunos hongos como *Aspergillus*, *Penicillium*, *Rhizopus*, *Alternaria*, *Bacillus* y *Pseudomonas*.

El fósforo presente en el suelo está constituido por compuestos orgánicos e inorgánicos, que pueden ser afectados por diferentes transformaciones en las cuales participan microorganismos. Dichos cambios incluyen la modificación de la solubilidad de compuestos inorgánicos; la mineralización de compuestos orgánicos con resultados de interés directo para la planta. Entre los mecanismos microbianos de la disolución de los fosfatos se ha demostrado el efecto de la protonación, la acción quelante de sustancias orgánicas, y la acción de mecanismos reductores de los cationes.

La calidad de un aof se mide actualmente desde diferentes parámetros así: la Norma 5167 al igual que el ICA tienen en cuenta porcentaje de N, P, Ca, C/N, CO y humedad. Para Peláez (2007) los criterios de calidad se fundamentan en las correlaciones existentes entre capacidad de intercambio catiónico CIC, cenizas C en y CO. Así mismo, es importante el alcance de la CIC de acuerdo con los cambios operados en la matriz orgánica, al igual que la interrelación entre las variables capacidad de retención del agua CRA, Cen y Densidad aparente Da y tamaño de la partícula TP. Para Zapata (2007) no existe una

definición universal de madurez del compost (Figura 1), por lo cual se deben buscar parámetros que permitan concluir que al final del proceso haya un material estable en condiciones de compostación o con una mínima transformación, similar al proceso pedológico de formación del humus.

Figura 1: Degradación de distintos tipos de sustancias con el tiempo en el proceso de compostación.



En consecuencia, los aof comienzan el proceso de mineralización en la pila y el de humificación en el suelo, porque según Zapata (2007) son etapas simultáneas que sólo suceden interactuando y formando asociaciones entre humus y arcillas.

El presente trabajo buscó cuantificar las UFC/g de MFN, MSF y MSR durante y al final del proceso de fermentación en los aof, como indicador de calidad; tomando muestras a diferentes alturas de la pila, la cual que tiene un ambiente óxico en la corteza y anóxico en el núcleo debido a la acumulación de humedad.

METODOLOGÍA

La investigación, se realizó en la planta de procesos de abono orgánico mineral fermentado de

Agroindustria Tibaná, en el predio el Porvenir, ubicado en la vereda de Pantano Colorado, municipio de Jenesano, provincia de Márquez, departamento de Boyacá, Colombia; a 2.100 m.s.n.m., con temperatura promedio de 17°C y pluviosidad promedio de 900 a 1000 m.s.n.m. (POT - 2007. Municipio de Jenesano Boyacá)

MATERIALES DE CAMPO Y LABORATORIO

Infraestructura de 1000m², piso firme, con cobertura en teja de zinc, alturas de 5 y 3 metros, en sistema de mediaguas, encerrado en madera y lonas de polipropileno con una altura de 1.8 m para permitir la circulación libre del aire. Las materias primas utilizadas en la preparación de los aof son estiércoles de: bovino, gallinaza, cama profunda de cerdos montada en cascarilla de arroz, fuentes de minerales de potasio, fósforo y calcio; además, se inocula con aof líquido preparado con: contenido ruminal fresco, leche, melaza, agua y sulfatos de hierro, cobre, magnesio, manganeso, potasio, zinc y ácido bórico. Para el desarrollo del trabajo de investigación en el laboratorio se emplearon los siguientes materiales: cámara de flujo laminar, nevera, jarrón de anaerobiosis, cajas de petri, erlenmeyer, asas bacteriológicas, incubadora, auto clave, láminas portaobjetos, láminas cubreobjetos y mechero de Bunsen.

MÉTODOS DE CAMPO Y LABORATORIO

Las muestras para el estudio fueron tomadas de tres lotes en proceso para elaboración de compost comercial, obedeciendo a las variables independien-

tes de medio (óxico - anóxico)³, a los 15 y 30 días después de realizada la mezcla en estratos (bajo, medio, alto)⁴ así: en recipientes de plástico limpios y marcados se recogieron submuestras de cada estrato, tanto óxico como anóxico, éstas fueron homogenizadas independientemente y luego se tomaron 500g de cada una, se embolsaron, y marcaron indicando fecha, estrato y días de fermentación. El proceso se realizó sobre 36 muestras, 12 por cada lote.

Los análisis se llevaron a cabo en el Centro de Investigaciones Microbiológicas de la Universidad de los Andes CIMIC, la cual se guía por el protocolo Postgate JR 1963.

Diseño experimental. Se realizó al azar completamente (por estratos); con análisis de varianza 2x2x3. Estos valores indican respectivamente medio óxico y anóxico, días de fermentación (15 - 30) y los estratos (alto, medio, bajo).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los datos obtenidos en los análisis de laboratorio se sometieron al programa estadístico SPSS (Statistical Package for the Social Sciences). Teniendo en cuenta la disparidad de valores entre MFN, MSF y MSR los datos exponenciales se transformaron en expresiones logarítmicas para hacer más eficiente el uso del programa.

Las UFC de los MSR no muestran diferencias significativas (Figura 2) en ninguno de los bloques respecto a los ambientes, tiempo y estrato. El análisis estadístico efectuado no evidencia diferencias de poblaciones; se hallaron valores entre menos de 10 UFC/g a 40.8x10⁴ UFC/g, lo que indica la poca presencia de estos organismos en los diferentes estratos y tiempos de fermentación.

Respecto a la prevalencia de poblaciones MSR con



Las UFC de los MSR no muestran diferencias significativas en ninguno de los bloques respecto a los ambientes, tiempo y estrato.

³Teniendo en cuenta el comportamiento de la pila se determinó que en la superficie (corteza) se pierde más humedad por el contacto con el medio ambiente, en los primeros 60 cm de arriba hacia abajo y se observa un color pardo, material más suelto y la temperatura de 55°C en promedio durante los primeros 15 días. Hacia el centro (núcleo) de la pila el color es negro, la temperatura es menor (35°C), hay menor evaporación y el olor a sulfuros determina un medio sin oxígeno.
⁴Para que las muestras fueran representativas se tomaron a diferentes alturas tanto en el núcleo como en la corteza así: abajo entre 0 y 0.50 m, en la mitad entre 0.50 y 1 m y en la parte alta entre 1 y 1.60 m.



Cuantitativamente, los MSR respecto a las colonias de fijadores de nitrógeno son muy escasas en ambos ambientes, estratos y días de fermentación, pero muestran un aumento de los solubilizadores de fósforo.

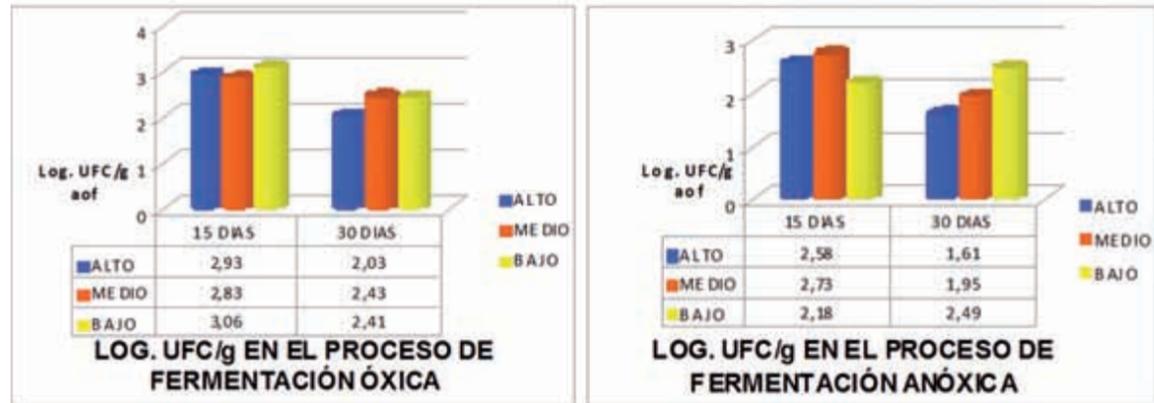


Figura 2. Microorganismos sulfato reductores

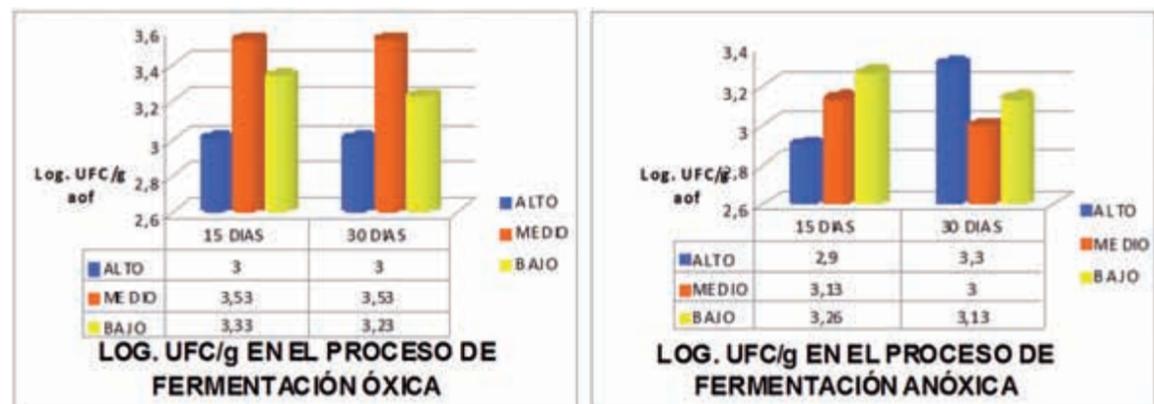


Figura 3. Microorganismos solubilizadores de fósforo

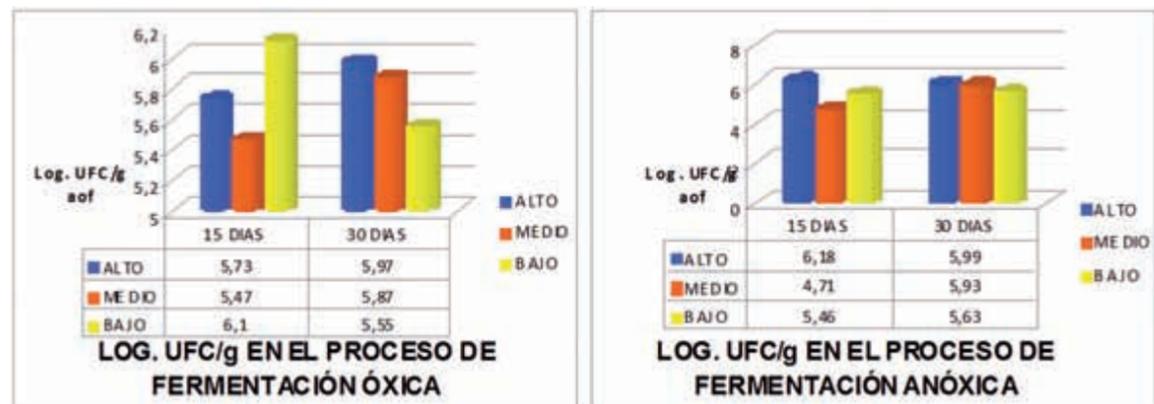


Figura 4. Microorganismos fijadores de nitrógeno

el tiempo de fermentación los resultados reportan que en el ambiente óxico son mayores, mientras que en el anóxico el valor desciende. De otra parte a los 30 días cuando se estabiliza la pila en 16°C y al 15% de humedad, los valores disminuyen para ambos ambientes.

Al respecto Fassbender (1982) y Campbell (2001) dicen "la mineralización del azufre orgánico sigue el mismo esquema presentado para el nitrógeno orgá-

nico. Las proteínas, los péptidos y otros compuestos azufrados orgánicos son depolimerizados hasta su estado de aminoácido (cisteína, cistina, metionina) tiosulfatos y tiourea". Teniendo en cuenta que según Guarín (2005) los aof tienen un 7% de proteína, el azufre de los aminoácidos se convierte en un producto que puede ser reducido a sulfuros.

Según Burbano (1982) una porción de sulfuro producido por las bacterias en los ecosistemas anóxicos

no proviene del sulfato sino de los compuestos orgánicos. Esta fuente de H₂S es probablemente la mayor en aguas negras, en masas en descomposición de los residuos de plantas o animales y donde quiera que mucha materia proteínica y poco sulfato estén presentes. Esta situación es permanente en los aof sólidos, por cuanto, una de las materias primas corresponde a la porquinaza por su alto contenido de proteína.

Cuantitativamente, los MSR respecto a las colonias fijadoras de nitrógeno son muy escasas en ambos ambientes, estratos y días de fermentación, pero muestran un aumento de los solubilizadores de fósforo. Este comportamiento sí indica una diferencia altamente significativa con respecto a ambiente, días y estrato con los fijadores de nitrógeno y significativa con los solubilizadores de fósforo.

El fósforo es un elemento indispensable en la nutrición vegetal; bien sea, de origen orgánico e inorgánico; en ambos casos se requiere de microorganismos que los solubilizan o mineralicen a través de enzimas (fosfatasas) y ácidos orgánicos (láctico, oxálico, cítrico) e inorgánicos (sulfúrico) que permitan la dinámica de este elemento (Burbano 1989, Coyne 2000, Mayea 1982, Atlas y Bartha 2000).

Los resultados del presente ensayo para MSF no muestran diferencias significativas entre factores y niveles para ninguna de las variables; es decir, que no hay disparidad entre las poblaciones reportadas a los 15 y 30 días, en los estratos y medios, corroborando lo encontrado en investigaciones previas realizadas por el mismo grupo. El recuento de MSF arroja valores menores de 10² hasta 18x10³, lo que indica que no es un compuesto con importantes aportes de estos organismos (Figura 3). En consecuencia se necesitan formas de fósforo disponibles para la planta, debido a que el valor promedio de pH es 8 y el contenido de calcio alcanza 9%, lo que puede estar promoviendo la fijación del fósforo como dicalcico.

Según Atlas y Bartha (1998) el fósforo no es un componente abundante en la ecósfera y a menudo llega a ser limitante para el crecimiento microbiano; su disponibilidad está restringida por su tendencia a precipitar en presencia de metales bivalentes (Ca²⁺, Mg²⁺) y el ión férrico (Fe³⁺) a pH neutro o alcalino; esto explica la poca presencia de MSF por cuanto estas son las condiciones del aof según el reporte de laboratorio sobre su composición química; además, el Ca tiende a reaccionar con el fosfato llevándolo a formas poco solubles como el fosfato tricálcico debido al pH alcalino de los compuestos.

No existe una diferencia significativa entre las variables estrato, medio de fermentación y tiempo; pero, para la condición óxica se manifiesta que el estrato medio a los 15 y 30 días es el más alto, mientras que en la parte alta es menor. No obstante, para el caso de la anaerobiosis el comportamiento de las variables estrato y tiempo no tiene relación directa, viéndose afectada por el movimiento realizado en la



pila, cada 8 días mediante un volteo mecánico donde se cambian las condiciones de los microorganismos que han permanecido en los diferentes estratos.

En general los aof muestran abundantes poblaciones de diferentes colonias de MFN (Figura 4), que van desde 3x10⁵ UFC/g en un ambiente anóxico hasta 10⁸x10⁵ UFC/g; lo que resulta de gran importancia teniendo en cuenta que en este compuesto el N no alcanza el 1%. Pero además las UFC de MFN halladas en los aof, tanto en la corteza (aerobio), como en el núcleo (anaerobio), no reportaron diferencias significativas con un nivel de confianza del 95% en los distintos medios. Lo anterior puede ocurrir por el volteo semanal de la pila, pues el núcleo queda expuesto a un ambiente óxico. Al respecto Coyne (2000) menciona, que la descomposición de los compuestos orgánicos se realiza más rápidamente por parte de los microorganismos en condiciones óxicas y Atlas y Bartha (1998) aseguran que Azotobacter y Beijerinckia pueden fijar N a la presión normal de oxígeno. Parece ser que protegen su nitrogenasa de



la inactivación oxidativa por una combinación de compartimentación y de complejos mecanismos bioquímicos. Otros fijadores de nitrógeno de vida libre como *Azospirillum*, fijan este elemento sólo si la presión del oxígeno es baja, como en el caso de los aof en el ambiente generado en el núcleo.

El comportamiento de los microorganismos en los tres estratos del medio óxico muestra disminución de sulfato-reductores en el estrato alto, invariable de los solubilizadores de fosfato y aumento de los fijadores de nitrógeno. De la misma forma ocurre en el punto medio, pero en el bajo las poblaciones evidencian tendencia a la disminución; lo que indica cuáles poblaciones prevalecerán en el aof en el momento de su estabilización.

Las condiciones abióticas de la pila entre los 15 y los 30 días presentan disminución de la humedad y la temperatura, alterando las poblaciones en forma drástica, debido a que en estos períodos se han efectuado dos movimientos de la pila. La escasez de nitrógeno de ésta coincide con lo afirmado por Campbell (2001) los principales factores que controlan el ciclo del nitrógeno son la temperatura y la disponibilidad de agua. En condiciones óxicas puede haber desnitrificación y fijación de nitrógeno; en condiciones anóxicas puede haber desnitrificación y fijación de nitrógeno por *Clostridium* y algunas bacterias fotosintéticas y reductoras de sulfato.

CONCLUSIONES

La oxigenación del montón, a través del volteo, puede inhibir el desarrollo de las bacterias sulfato-reductoras; porque el oxígeno no les permite vivir; además, la pérdida de humedad, el aumento de temperatura y la variación del pH cambian las condiciones para estos organismos.

Los sulfatos agregados al aof no son promotores de microorganismos sulfato-reductores, pero se convierten en fuente de azufre y elementos menores para la planta o para otras reacciones del mismo abono.

La ausencia de MSR puede ser considerado un factor de calidad, porque no se transforman los sulfatos en sulfuros, compuestos tóxicos para la planta.

Los aof no tienen importancia respecto a las poblaciones de MSF, seguramente por el bajo porcentaje de fuentes de elementos tanto de origen orgánico como inorgánico presentes en los mismos; los bajos niveles pueden presentarse debido a que otras especies microbianas como los MFN, celulolíticos lo consumen como fuente de energía transformándolo en su metabolismo. De otra parte, la ausencia de MSF puede obedecer al pH alcalino que tienen los abonos.

Los aof no son fuente de nitrógeno amoniacal ni de nitratos para las plantas, pero constituyen una

reserva importante de microorganismos que mineralizan el nitrógeno de fuentes orgánicas favoreciendo su disponibilidad; además, con los MFN de vía libre, es posible fijar nitrógeno atmosférico a temperatura y presiones ambientales normales sin gasto de energía fósil.

Las poblaciones FN, se mantienen desde el

comienzo hasta el final del proceso; en primer lugar, porque los de volteo favorecen la proliferación del oxígeno por flujo y en segundo lugar debido a que las nitrogenasas son enzimas que se pueden presentar con bajas presiones de oxígeno como el caso de *Asospirillum* fijador de nitrógeno de vida libre.

BIBLIOGRAFÍA

- ATLAS, R y BARTHA, R. 2002. Ecología microbiana y microbiología ambiental. 4ª ed. Pearson Educación S.A. Madrid. 677 p.
- BOHN, H, McNEAL, B y Ó CONNOR, G. 1993. Química del suelo. Editorial Limusa S.A. de C.V. México D.F. 370 p.
- BURBANO, H. 1989. El suelo: una visión sobre sus componentes bioorgánicos. Universidad de Nariño. Pasto. Colombia. 284 – 359 p.
- CAMPBELL, R. 2001. Ecología Microbiana. Editorial Noriega. Primera reimpresión. México. 73-91 p.
- COYNE, M. 2000. Microbiología del suelo: un enfoque exploratorio. Traducido por Martín Rasskin. Editorial Paraninfo. Madrid. 415 p.
- FASSBENDER, H. 1982. Química de suelos: con énfasis en suelos de América Latina. Editorial Texto Ltda. San José, Costa Rica. 398. p.
- GARCIA, J. 2006. Principios generales de agricultura orgánica. Editorial Fundación Universitaria Juan de Castellanos. Tunja Boyacá. 189 p.
- HANKE, F. 2005. Microbiología del Suelo. En: Memorias seminario-taller: Nutrición vegetal a partir de abonos orgánicos fermentados AOF. Fundación Universitaria Juan de Castellanos. Tunja Boyacá. [C.D - Room].
- LEGGETT, M, y STECKLER, S. 2007. Seminario Microorganisms mediating an increase in phosphate availability to the plant – How to find and select microorganisms to use in a phosphate inoculant. En: Segundo curso internacional de biofertilizantes microorganismos promotores del crecimiento vegetal: rixobacterias y solubilizadores o movilizados de fósforo. Bogotá.

- LYNN, M. y SAGAN, D. 2001. Microcosmos. 2ªed. Tusquets Editores S.A. Barcelona. 313 p.
- MADIGAN, M., MARTINKO, J., y PARKER, J. 2004. Biología de los microorganismos. 10ªed. Pearson Educación, S.A. Madrid. 1096 p.
- MAYEA, S., NOVO, S. y VALIÑO, A. 1982. Introducción a la Microbiología del Suelo. Editorial Pueblo y Educación. La Habana Cuba. NTC 5167. 2004. Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC). Primera Actualización. Bogotá D.C.
- PELAEZ, C. 2007. El papel de las enzimas en los procesos de transformación de la materia orgánica. Grupo de investigación de abonos orgánicos fermentados "AOF". En: Memorias seminario-taller: Nutrición vegetal. Fundación Universitaria Juan de Castellanos. VI semana científica. Tunja Boyacá. [C.D - Room].
- REYES, I. 2007. Mecanismos de acción en la disolución de fosfatos minerales. En: Segundo curso internacional de biofertilizantes microorganismos promotores del crecimiento vegetal: rixobacterias y solubilizadores o movilizados de fósforo. Bogotá.
- URIBE, D. 2007. Importancia de los grupos funcionales, fijadores biológicos de N y solubilizadores de fosfato en el ecosistema edáfico. En: Seminario – taller microorganismos de los aof en la interacción con la estructura del suelo y la nutrición vegetal. Tunja Boyacá.
- ZAPATA, R. 2007. Interacción entre materia orgánica, mineral y microorganismos para la disponibilidad de iones en el suelo* Grupo de investigación de abonos orgánicos fermentados (AOF). En: Memorias seminario-taller: Nutrición vegetal. Fundación Universitaria Juan de Castellanos. VI semana científica. Tunja Boyacá. [C.D - Room].

