

Relación

entre la población
microbiológica y el
contenido de nutrientes
en un abono orgánico
fermentado AOF

Por: GARCÍA, Francisco*.

RESUMEN

La riqueza de un Abono Orgánico Fermentado, se determina por la población de microorganismos allí presentes, éstos dependen de la temperatura, el pH, la humedad, el oxígeno y alimento principalmente. Dichas condiciones cambian entre un biól, bocashi y el suelo; pues en éste las poblaciones que se encuentran no son las mismas de los AOF. En consecuencia el aporte de tales abonos es alimento para las plantas a partir de los minerales agregados en forma de sulfatos, fosfatos, carbonatos y de la mineralización-humificación de la materia orgánica. También es nutriente para los microorganismos que utilizan estos minerales y las moléculas orgánicas. El porcentaje de materia orgánica se convierte en: fuente de alimento para los actinomicetos, carbono para fijadores de nitrógeno de vida libre, fosfatos inorgánicos para solubilizadores de este compuesto y demás organismos presentes en el medio.

Palabras claves

Biól, bocashi, nutrición vegetal, interacción, microorganismos, disponibilidad.

ABSTRACT

The Organic Fermented Manure richness, is determined by the micro - organisms population it presents, which depend mainly on temperature, pH, humidity, oxygen and food. This conditions change between a biól, bocashi and the floor; because in this one the populations that can be found are not the same as the AOF's populations. In consequence, the contribution of such manure is food to the plants starting out of the incorporated minerals as sulfates, phosphates and carbonates, and out of the mineralization-steamification of the organic substance. It is also a nutrient to the micro organisms that use these minerals and to the organic molecules. The percentage of organic substance transforms itself into: food source for the actinomicets, carbon for free life nitrogen fixers, inorganic phosphates for soluble-makers of this compound and other present organisms in the environment.

Key words

Biól, bocashi, vegetable nutrition, interaction, micro-organisms, disponibility.

* Magíster © en Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Colombia. Esp. en Gerencia Agraria, FUJC. Ingeniero Agrónomo, UPTC. Docente Investigador Iniclen JDC.
E-mail: jfgm29@hotmail.com



INTRODUCCIÓN

Una planta es la expresión del suelo donde se siembra y del ambiente que la rodea; cuando las condiciones le son favorables muestra sus mejores características: color, frondosidad, sabor y manifestación genética en las semillas. De esta manera expone su genotipo y fenotipo en una estrecha relación suelo-planta-ambiente.

El suelo está en contacto con la atmósfera y la superficie de la corteza terrestre; en consecuencia, se deriva de las interacciones, entre ellas, tiempo y espacio. Malagón (2003) expone que la acepción del concepto suelo como cuerpo natural, está referida a su composición (sólidos, líquidos, gases), localización espacial (superficie de la corteza terrestre), procesos que lo diferencian de los materiales que lo originan (adiciones, pérdidas, translocaciones y transformaciones), o por la posibilidad de soportar plantas en su ambiente natural.

La capa superficial de la corteza terrestre reúne las condiciones para posibilitar la germinación de una semilla, el crecimiento de las raíces, la vida de meso y microorganismos. Estos requisitos varían por influencia antrópica, génesis y actividad biológica; plantas y organismos toman elementos, compuestos, exudan agregados metabólicos, en simbiosis o de manera independiente, alterando condiciones químicas y bioquímicas de los coloides del suelo. Bendeck (2005) sostiene que el conjunto de transformaciones que sufren los residuos orgánicos puede seguir diferentes caminos, dependiendo del tipo y cantidad de material, el ambiente edáfico, material parental, actividad biológica y clima. Al interior de dichos cambios, la oxidación es el proceso más activo y el que determina el avance de la descomposición y la mineralización; estos son procesos biológicos. La humificación es complementaria y de carácter biológico y físico-químico, en su desarrollo muestra productos de síntesis y de herencia por la transformación de materiales. La reactividad de los ácidos húmicos y fúlvicos se debe básicamente a un alto contenido de grupos funcionales oxigenados: Carboxílico (COOH), fenólico OH, alcohol OH, cetonas C=O aldehído y carbonilo, entre otros.

La nutrición vegetal completa depende de la disponibilidad de nutrientes en la solución del suelo y la presencia de microorganismos que la faciliten; por ejemplo, azobacter y nitrobacter para la toma de nitrógeno. Entre las azobacterias libres se conocen: *Azobacter chroococcum*, *agile*, *vinelandii*, *beijerinckii*, *beijerinckia* (bacillos amilobácter), *clostridium pastorianum* y *azotomona insolita*. También están las que viven en simbiosis, diferentes clases de rizobium, que son definidas para cada clase de leguminosa. Al respecto Hanke (2005) indica que el fermento específico de la fijación de nitrógeno no se conoce todavía; pero se sabe que depende de la presencia de molibdeno.

Respecto a los solubilizadores de fosfatos y sulfato-

los, se sabe que el azufre del suelo tiene su origen en la meteorización de magmatitas, que por oxidación pasan a formar sulfatos. En esta oxidación participan primordialmente tiobacillus, thiooxidans. Los cultivos absorben el azufre en forma de sulfatos. Hanke (2005) afirma que en la descomposición de residuos orgánicos se liberan los mercaptanos, iones de sulfuro; bacterias verdes, purpurbacterias, y tiobacterias que oxidan esos sulfuros en ambiente aeróbico formando sulfatos; Sánchez et al. (2000) sostienen que la reacción biológica del manganeso es realizada por esta misma bacteria, con especies de los géneros Bacillus, Clostridium, Micrococcus, Pseudomonas y varios hongos.

No hay microorganismos específicos que descompongan compuestos inorgánicos de fósforo; son los ácidos orgánicos los que ayudan a la meteorización y descomposición de las rocas. Más o menos entre el 25 y el 65% del fósforo del suelo se encuentra en forma orgánica y la mitad de éste en forma de fitina, que se descompone por acción enzimática de la fitasa en un medio ácido característico de los hongos. Las micorrizas arbusculares (MA) son indispensables para la toma de P, NH₄⁺, K⁺, Zn²⁺ y Cu²⁺ absorbidas por ellas cuando están en bajas concentraciones. Sánchez (1999) afirma: las profusas ramificaciones del micelio externo de la MA y su extensión, más allá de la zona de agotamiento del nutrimento que se forma alrededor de la raíz, se convierte en un importantísimo puente que permite que la planta tenga acceso a este nutriente y a otros a partir de un mayor volumen de suelo.

La materia orgánica pasa por procesos de descomposición, fermentación y humificación, efectuados por microorganismos propios de cada uno. Bonh, et al (1993) sostienen: la fermentación desde el punto de vista energético es el reacomodo de las moléculas orgánicas en compuestos más estables, de manera que la energía se libere. La fermentación de los carbohidratos da origen al etanol (CH₂H₃OH) o metano (CH₄) y CO₂; y la de material vegetal a la turba y CO₂, liberando alrededor del 10% de energía. Por lo tanto, los productos de la fermentación retienen cerca del 90% de los materiales originales. Bendeck (2005) comenta que la dinámica del proceso conduce a la formación de diversidad de productos que conforman las sustancias húmicas: humina heredada, microbiana, ácidos fúlvicos, húmicos y las huminas de insolubilización, dentro de las cuales sobresalen las unidas al hierro y las arcillas.

Según Mary et al. (1993) citados por Vandeviere y Ramirez (1999), se ha encontrado que las raíces de las plantas excretan hasta el 29% de la producción total de azúcar, llevada a cabo en las hojas a partir del CO₂ del aire. Estas excreciones son fuente de energía y carbón, que estimulan el crecimiento de los microorganismos del suelo, y por ser deficientes en nitrógeno y otros nutrientes esenciales, obligan a liberarlos de la materia orgánica donde están quelatados.

El caso en la JDC

Los AOF que se preparan en el Centro Experimental Agroambiental de la Fundación Universitaria Juan de Castellanos (JDC), han sido aplicados durante tres años para fertilizar parcelas cultivadas con arveja, avena, hortalizas, maíz, quinua, alfalfa y vicia. Los resultados muestran plantas con abundante follaje, raíz profunda, buena floración, colores intensos y aumento en el tamaño, en general, además de la aparición de diversidad de arvences. En cuanto a características del suelo se aprecia cambio de color, estructura y consistencia en los primeros 20cm. Estas observaciones motivaron la búsqueda de un mayor conocimiento sobre las condiciones microbiológicas y la composición química de los AOF.

Este artículo corresponde a una investigación preliminar y a la evaluación de las poblaciones de microorganismos presentes en los AOF líquidos, sólidos y el suelo donde se han aplicado durante 3 años con intervalo de 6 meses y un promedio de 2Kg/m²; además de la disponibilidad de nutrientes para la planta a partir de los minerales agregados a la mezcla en la preparación. Se pretende saber si los microorganismos y minerales que contienen los AOF están en el suelo y si cumplen alguna función en sus condiciones físicas, químicas y biológicas.

Los AOF utilizados en el ensayo constituyen un compost inmaduro tipo bocashi, que efectúan el proceso de humificación y mineralización en el suelo, porque se requiere de un ambiente aeróbico; esto permite mantener una alta población de microorganismos, dado que tienen fuentes de energía provenientes de los carbohidratos agregados en la mezcla; además, de celulosa, liquina, proteína y lípidos; alimentos para la población microbiana, extraídos del estiércol el aserrín y la pulidura de cereales.



Elaboración de abono sólido inoculado con un Biol, que contiene sales minerales y colonias de microorganismos.

Materiales y métodos

Los abonos son fabricados en el municipio de Soracá (Boyacá) en la vereda "Otro Lado", Centro Experimental Agroambiental de la Fundación Universitaria Juan de Castellanos, localizada a 5° 30'30" latitud N y 73° 20'12" longitud W del meridiano de Greenwich, a una altitud de 2810 msnm, temperatura media de 12° C, humedad relativa del 75% y precipitación anual de 800 mm.

Los abonos orgánicos fermentados líquidos (Biol.) y sólidos (bocashi) son preparados en un cobertizo con tejas de zinc y buena ventilación. El Biol se fabrica en una caneca plástica de 200L; se utilizan 60Kg de estiércol fresco de bovino, 120L de agua, 7Kg de melaza, 30L de suero, 1Kg de CuSO₄, 1Kg de MgSO₄, 1Kg de ZnSO₄, 1Kg de FeSO₄, 1Kg MnSO₄, y 1Kg de HBO₃ dejándolos fermentar durante 45 días.

En la fabricación del bocashi se emplearon 3050Kg de estiércol seco de bovino, 550Kg de aserrín de madera (ciprés), 100Kg de CaCO₃, MgCO₃, 200Kg de P₂O₅ al 10%, 50Kg de K₂SO₄, 60Kg de melaza y 50Kg de mogollo (pulidura de cereales). Todos los materiales son mezclados en seco y luego mojados con 200L de biol y 200L de agua, se amontona y cada 8 días se da un volteo para oxigenar, a los 40 días la mezcla está lista para usar o almacenar.

Luego se tomaron 2 muestras de biol para enviar al laboratorio, teniendo en cuenta que no había réplicas, lo que no permitió un análisis estadístico estricto. Éstas fueron tomadas de la nata que se forma en la superficie de la caneca y del líquido previamente mezclado, se envasaron en frascos plásticos, se sellaron, marcaron y transportaron en nevera de hícopor al laboratorio.

Las muestras de bocashi se tomaron del montón a diferente altura y distancia del centro, se mezclaron en un recipiente plástico y luego se empacaron en bolsas, se cerraron, marcaron y transportaron al laboratorio en nevera de hícopor.

Las muestras corresponden a suelos andisoles (tomadas a 15 cm de profundidad donde está la mayor actividad de raíz y microorganismos), se habla de dos suelos porque fueron extraídas en dos lugares diferentes de la misma finca, donde se han aplicado los AOF.

Los citados análisis, se realizaron en dos épocas diferentes. En octubre de 2004 se examinaron un biol y un abono sólido con 60 días de preparación, al igual que el suelo donde se vienen aplicando desde hace 3 años. En marzo de 2005 se llevó a cabo el mismo proceso; pero con 120 días de preparación.

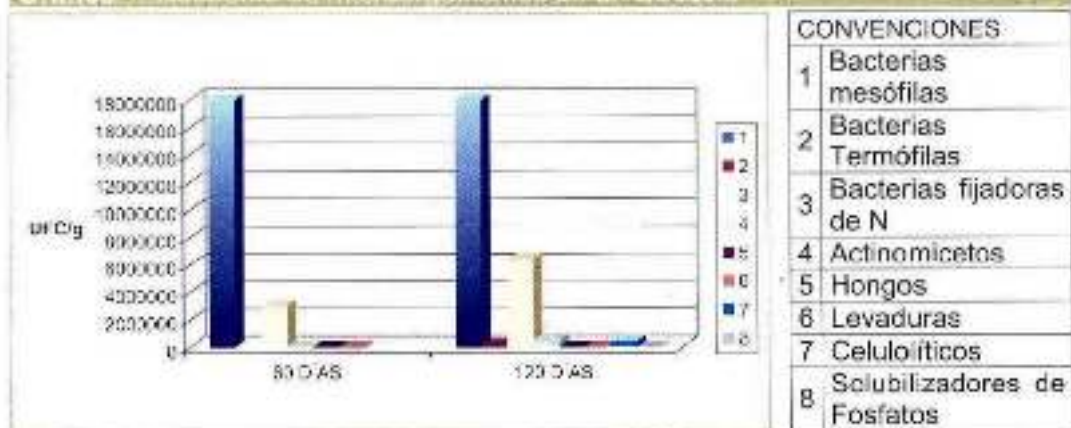
Los análisis para recuento de microorganismos fueron practicados en el Centro de Investigaciones Microbiológicas de la Universidad de los Andes - CIMIC y los estudios para caracterización de material orgánico líquido y sólido con su composición nutricional, fueron realizados por Agrilab.



Colonias de hongos que forman la red en la superficie de un abono líquido, de donde se toman las muestras para hacer los recuentos.

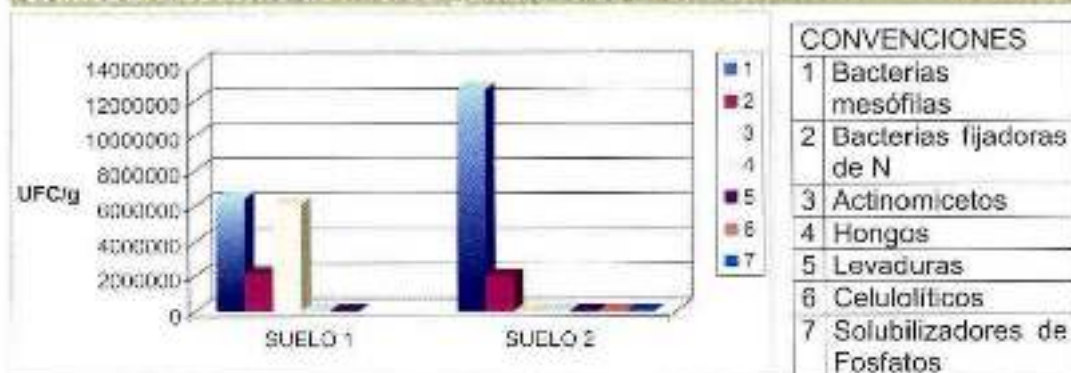
Resultados

Gráfica 1. Recuento de microorganismos en un Biocashi



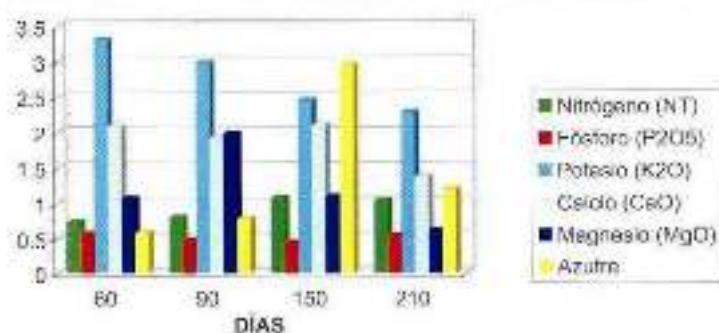
CONVENCIONES	
1	Bacterias mesófilas
2	Bacterias Termófilas
3	Bacterias fijadoras de N
4	Actinomicetos
5	Hongos
6	Levaduras
7	Celulolíticos
8	Solubilizadores de Fosfatos

Gráfica 2. Recuento de microorganismos en el suelo

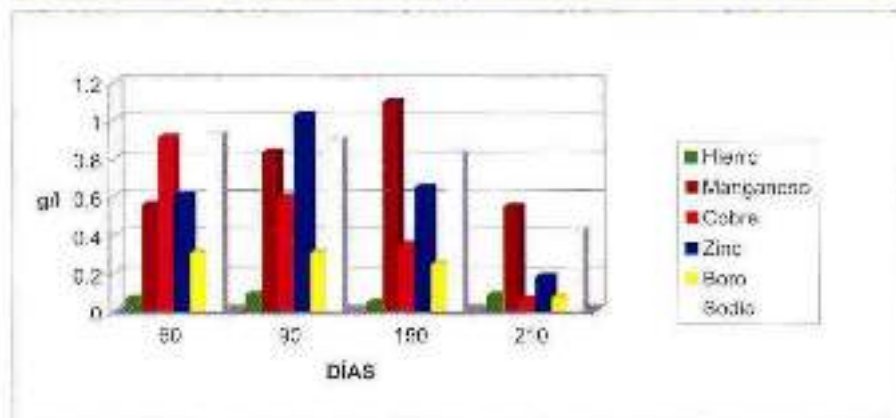


CONVENCIONES	
1	Bacterias mesófilas
2	Bacterias fijadoras de N
3	Actinomicetos
4	Hongos
5	Levaduras
6	Celulolíticos
7	Solubilizadores de Fosfatos

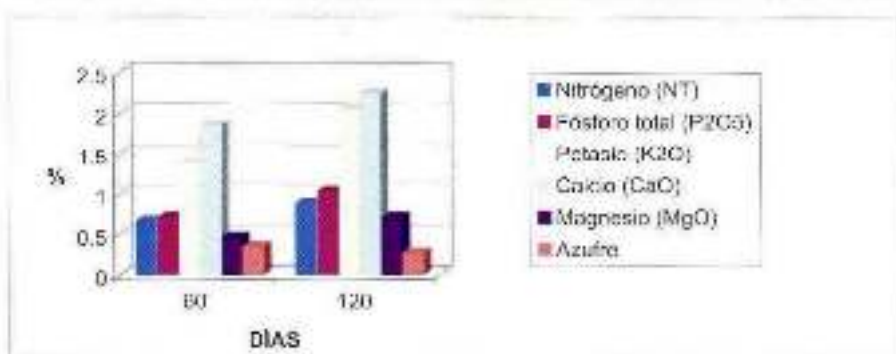
Gráfica 3. Análisis de material orgánico en abono líquido biol.



Gráfica 4. Análisis de material orgánico en abono líquido Biol.



Gráfica 5. Caracterización de material orgánico sólido y composición nutricional en un Bocashi.



Gráfica 6. Caracterización de material orgánico sólido y composición nutricional en un Bocashi.



Discusión

Nitrógeno y bacterias del AOF

Los porcentajes de N presentes en un AOF líquido o sólido son relativamente escasos; el aporte de este elemento a las plantas lo hacen las bacterias fijadoras y actinomicetos presentes en el abono, $30 \cdot 10^5$ y $63.9 \cdot 10^5$ UFC/g para los primeros y $<10 \cdot 10^3$ y $52 \cdot 10^4$ para los segundos en Bochashi de 60 y 120 días respectivamente. La presencia de bacterias fijadoras de nitrógeno en el bocashi aumenta con el tiempo de maduración como lo indi-

ca la gráfica 1. La capacidad de fijación de éstas varía considerablemente en dependencia de la composición del medio nutritivo, de su acidez, temperatura y aireación.

La fijación biológica de nitrógeno es catalizada por el complejo enzimático nitrogenasa, que se encuentra exclusivamente en procariotas. Según Azcon Bieto y Talón (2001) el espectro de organismos diazotrofos o fijadores de nitrógeno es muy amplio, hasta el punto que éstos pueden encontrarse en cualquier hábitat. Existen anaerobios estrictos (Desulfobibrio, Clostridium) anaeróbicos facultativos (Klebsiella, Citrobacter) o microaeróbicos (Asospirillum, Santobacter,) y aeróbicos estrictos (Asotobacter, Beigerinquinia). La presencia de estos microorganismos en un AOF, resulta posible debido a que en el montón se pueden dar las condiciones. De igual forma ocurre en la caneca donde se prepara el biol, la parte superior puede tener oxígeno pero en el fondo se presenta anaerobiosis.

Según Martínez (1986), las bacterias del género Azotobacter pueden tomar como fuentes de carbono, carbohidratos, ácidos alifáticos y aromáticos, alcoholes, compuestos volátiles etc. La mayor parte de los compuestos orgánicos son oxidados hasta CO_2 , y se acumulan en los medios ácidos orgánicos (fórmico, acético, láctico, butírico) y en alcohol etílico, disminuyendo el pH. En el suelo, las bacterias utilizan una amplia gama de compuestos orgánicos y de productos de la descomposición de plantas y animales. Esto explica la capacidad que tienen para asimilar las sustancias formadas en el sustrato durante la descomposición de la celulosa en un AOF. Además, su propagación está relacionada con suficientes cantidades de fósforo, potasio, calcio, magnesio y molibdeno. Estos elementos son agregados en la fabricación de los AOF como fuente de minerales para las plantas; pero, también son utilizados por algunos microorganismos como lo reporta la literatura citada.

Las bacterias fijadoras de Nitrógeno de vida libre establecen asociaciones con algunos microorga-

nismos que estimulan su desarrollo y actividad. Martínez (1986) sostiene que se ha reportado diez veces más Nitrógeno fijado en cultivos mixtos de *Azotobacter vinelandii* y *Rhodopsesdomonas*. Esto se debe a la producción de D desoxirribosa por parte de Rh capsulatos, la cual favorece el desarrollo y la actividad de *A vinelandii*.

Se ha encontrado también que la fijación se estimula en cultivos mixtos de *A. choococcom* y algunos actinomicetos, especialmente por *Actinomyces coelicolor*. Según Fassbender (1982) entre el 85 y 95% del nitrógeno total del suelo es orgánico; de esta proporción entre el 20 y 40% está en forma de aminoácidos: Lisina (15%), Alanina (13%) isoleucina y glicina (12%), ácido aspártico (19%), Treonina (5%), entre otros. Además, se encuentran azúcares aminados derivados de la glucosa y galactosa hasta 10% del nitrógeno total. También se evidencian mucopéptidos (combinaciones de aminoácidos y aminoazúcares) y ácidos teichóicos (adenina, guanina, xantina, uracil y tiamina). Los AOF se convierten para el suelo en una fuente de todos estos compuestos provenientes del estiércol, cемolina de arroz o repila de cereales y melaza. Esto permite afirmar que el aporte de nitrógeno a microorganismos de suelo y plantas allí establecidas por parte del Bocashi, está en la fracción orgánica no analizada del presente ensayo pero manifiesta por la población de organismos.

Las formas inorgánicas presentan el nitrógeno del suelo como: óxido nitroso (N₂O) óxido nítrico (NO), dióxido (NO₂), amoníaco (NH₃) en cantidades mínimas, casi imperceptibles, y además como amonio (NH₄⁺), nitrito (NO₂⁻) y nitrato (NO₃⁻). Una característica del proceso de fermentación en el AOF está en la anaerobiosis al interior del montón, que en el volteo desprende vapores de NH₃, H₂S y CO₂ presentando un olor fuerte y penetrante; estos gases van desapareciendo a medida que el montón pierde humedad y se oxigena.

Solubilizadores de Fosfatos

Los microorganismos solubilizadores de fosfatos no corresponden a un recuento significativo en los AOF <10UFC/g; sin embargo, su población sí muestra un aumento en el suelo donde se aplica el abono 2*103UFC/g. El contenido de fósforo orgánico en el suelo se encuentra estrechamente relacionado con el de la materia orgánica y cierta proporción de éste corresponde al aporte de la masa microbial. Los ácidos ADN y ARN están en todas las células vivientes y en el suelo son sintetizados por los microorganismos durante la descomposición de los residuos de plantas y animales.

El AOF tiene fuentes de fosfato inorgánico P205 hasta un 0.4% en la preparación; pero, muestra un aumento en el abono maduro de 60 días en un 0.71 % y

1.03% a los 120 días. Este aumento puede corresponder a la fuente de fósforo orgánico proveniente del estiércol (ácidos nucleicos, fosfolípidos, fosfoproteínas, fosfatos metabólicos, etc) y a la adición de carbohidratos que aportan azúcarfosfatos. La ausencia de solubilizadores se debe tal vez a las altas temperaturas alcanzadas en el proceso de fabricación puesto que estos organismos son mezófilos como el *penicillium*, *aspergillus*, *mucor* y *botritis*, entre otros.

En el caso de los AOF líquidos, se reportan valores de P205 entre 0.57g/l biol de 60 días, 0.48 g/l 90 días, 0.45 g/l 150 días y 0.54 g/l 210 días (gráfica 3). Teniendo en cuenta que a este abono no se le proporciona fósforo de ninguna fuente mineral, se deduce que el P205 reportado proviene justamente del estiércol fresco y la melaza usadas en la preparación.

Burbano (1989), afirma: Muchos de los microorganismos comunes del suelo, tanto bacterias como hongos son capaces de disolver "invitro" más fosfatos insolubles de los que normalmente se encuentran en el suelo. Los microorganismos los disuelven a través de la secreción de ácidos orgánicos; láctico, oxálico y cítrico, producto de la fermentación, proceso que se da en el montón de Bocashi durante un período de 40 días.

Una vez llega el abono al suelo, los exudados radiculares y residuos vegetales proveen el sustrato energético para soportar la intensa actividad microbiológica, característica de la rizosfera, y para llevar a cabo la solubilización de fosfatos; entonces, la mineralización del fósforo orgánico y la solubilización del inorgánico dependen de microorganismos que provocan reacciones que conducen a fosfatos orgánicos e inorgánicos a ser disponibles para el crecimiento de las plantas.

Los actinomicetos

Los análisis de laboratorio reportan la presencia de actinomicetos tanto en los AOF como en el suelo; el valor más alto para Bocashi de 120 días 52*104UFC/g, (gráfica 1) se debe, tal vez, a que son los iniciadores del proceso de humificación y a su capacidad para descomponer celulosa y otros polisacáridos como hemicelulosa, lignina, quitina y ácido oxálico, que utilizan como fuentes el nitrógeno y el carbono. Burbano (1989) afirma que las diferentes sustancias de las plantas de alto peso molecular, son convertidas en ácidos húmicos bajo una amplia variedad de condiciones respecto al medio físico; los primeros pasos en este proceso son efectuados por los actinomicetos y otros microorganismos, y, entonces los productos inicialmente rotos son transformados en ácidos húmicos altamente polimerizados.

Los actinomicetos del suelo son aeróbicos típicos, con excepción del género *Actinomyces* que es aeróbico y microaeróbico; se desarrollan a temperaturas que oscilan entre de los 28°C, pero muchos de ellos pueden prosperar en las partes aireadas del montón de estiércol, o de residuos orgánicos con temperaturas entre 60 y 65 °C como ocurre en el Bocashi.

Según Burbano (1989), por lo general en el suelo el género *Streptomyces* predomina numéricamente sobre los demás, 70 a 90%. El segundo lugar lo ocupa *Nocardia* 10 a 30% seguido de *Micronospora* 1 a 15%; todos ellos producen en este medio diferentes tipos de antibióticos: estreptomycin, ureomicina, terramicina y neomicina; pero, sólo especies aisladas de *Streptomyces*, a partir del suelo, son capaces de producir antibióticos en grandes cantidades, bajo condiciones de laboratorio. En el suelo únicamente se producen estas sustancias en las zonas que circundan la colonia por las insuficientes condiciones nutricionales del mismo.

Teniendo en cuenta la capacidad de estos microorganismos para soportar temperaturas extremas, es posible considerar que son un gran aporte del abono al suelo, donde terminarán el proceso de humificación a través de la degradación de celulosa y otros compuestos ricos en carbono; el *Bocashi*, además, les proporciona otras fuentes de nutrientes tanto orgánicos como inorgánicos; los recuentos de UFC/g en el suelo muestran entre 15×10^3 y 61×10^5 en lugares donde se aplicó *Bocashi*, como se muestra en la gráfica 2.

Las Micorrizas arbusculares MA

El recuento de esporas de micorrizas arbusculares en el *Bocashi* de 60 días es muy bajo (gráfica 1), esto se puede explicar tanto por las altas temperaturas que alcanza el montón, como por el hecho de no existir plantas para establecer la simbiosis. Por el contrario en el suelo donde ha sido aplicado el AOF, la población de MA se incrementa hasta en un 41% (gráfica 2).

Los microorganismos que viven sobre las raíces pueden ser benéficos porque aumentan la capacidad de absorber nutrientes. Las hifas pueden extenderse varios centímetros desde las raíces, aumentando así la superficie del suelo para la absorción, aspecto que tiene especial significado para los elementos de poca movilidad como el fósforo. Las MA favorecen además la fijación simbiótica del N_2 , cuyo proceso requiere elevadas cantidades de fósforo y molibdeno. En algunos casos las leguminosas pueden hacer simbiosis doble, rizobios-MA mostrando generalmente mayor nodulación, actividad de nitrógenasa, concentración de hemoglobina y niveles de N_2 .

Los reportes del fósforo total P205 en *Bocashi* oscilan entre 0.71 hasta 1.03% (gráfica 3) que llega al suelo para convertirse en una fuente del mismo. Sánchez (1999) afirma: se ha demostrado plenamente que las MA disponen de las enzimas requeridas para que ocurra la síntesis y degradación de polifosfatos, y de los mecanismos bioquímicos para que el proceso se autorregule, de acuerdo con la disponibilidad de fósforo en el suelo, que se expresa en la formación (fijación de P inorgánico en el citoplasma) o degradación (liberación de P inorgánico) de los granulos de polifosfatos. Según Burbano (1984) en un

trabajo con suelos del Cauca (Colombia), se encontró que las aplicaciones de diferentes fuentes de fósforo (roca fosfórica y súper fosfato triple) pueden variar la composición cuantitativa de especies de hongo de MA en el suelo. Cuando se hacen inoculaciones con micorrizas, la efectividad y persistencia están determinadas por el suelo, la fuente de fósforo, el sistema de inoculación y la especie fungosa introducida al campo. Existen muchas prácticas para la inoculación de abonos con micorrizas, donde se deberían tener en cuenta los conceptos anteriormente citados.

En este trabajo se observa que las cantidades de P205 que llegan al suelo se convierten en fuentes de fósforo aprovechado por las MA y los solubilizadores de fosfato antes mencionados. Sánchez et. al. (1995) afirman; para el caso de la roca fosfórica, fuente de fósforo de baja solubilidad, se ha encontrado que la presencia de MA hace más eficiente su uso, lo cual se ha explicado sobre todo con base en procesos químicos del suelo; sin embargo, las hifas de las MA podrían intervenir en forma indirecta en la acidificación de la rizosfera, lo que facilitaría su solubilización.

El P disponible en el suelo donde se aplicó AOF, corresponde a 13ppm de H_2PO_4 con 41% de micorrizas arbusculares presentes en el lugar. Sánchez (1999) dice que las poblaciones de microorganismos solubilizadores de fosfatos como *Pseudomonas* spp, *Agrobacterium* spp, *Bacillus circulans*, *Aspergillus niger*, *Penicillium funiculosum*, entre otros, se incrementan en la rizosfera de las plantas micorrizadas e interactúan en forma sinérgica con los MA. De otra parte Primavesi (1984) comenta que, las micorrizas en condiciones que les son favorables aumentan el crecimiento vegetal al inmovilizar nutrientes, en especial, fósforo, calcio y potasio, y al fijar nitrógeno y detener el espacio radicular por antibióticos.

Solubilizadores de Azufre

Las condiciones bajo las cuales se producen los AOF son anaeróbicas, para el caso del *Biol* y en el *bocashi* éstas se dan en el centro del montón; teniendo en cuenta que, mientras más grande y apilado esté, mayor será la anaerobiosis. Burbano (1984) sostiene que bajo estas condiciones, la descomposición-mineralización resultará en acumulación de mercaptano y sulfuro de hidrógeno. Al descomponer la sisteína, evoluciona a productos tales como sulfhidrilo, ácido pirúvico y amoníaco, como catalizador de la enzima sisteína desulfhidraza.

En la mineralización o inmovilización del azufre intervienen la mayoría de los microorganismos del suelo. Cuando en la materia orgánica existe menos azufre que el requerido para la proliferación microbiana, predominará la inmovilización. Azcon-Bieto y Talón (2001) sugieren que el nitrógeno y azufre inorgánico, presentes en los suelos, experimentan cambios en sus estados de oxidación como resultado de la actividad metabólica de diversos grupos

de bacterias. En suelos aireados se encuentran principalmente en sus formas más oxidadas, nitrato (NO_3^-) y sulfato (SO_4^{2-}); las plantas los toman y reducen a amonio (NH_4^+) y sulfuro (H_2S) o tiol ($-\text{SH}$) incorporando estas formas a moléculas orgánicas.

Existen grupos de bacterias anaeróbicas estrictas, que utilizan el nitrógeno o el sulfato en lugar del oxígeno, como aceptores terminales de electrones en la oxidación de sustratos orgánicos, con lo que producen formas reducidas de nitrógeno y azufre. En este caso la reducción de nitrato y sulfato no tiene una finalidad asimiladora sino respiratoria. Borh et, al. (1993) dicen que los estados de oxidación reducida en el suelo son más tóxicos que los métodos de oxidación estables en presencia de oxígeno, por ejemplo, el NH_3 y NO_2^- son más tóxicos que el NO_3^- ; el H_2S es más tóxico que el SO_4^{2-} , la reducción de Fe^{3+} y Mn^{4+} pueden originar condiciones fototóxicas en arrozales por la falta de oxígeno, caso que se podría dar en el Biol. La reducción del NO_3^- a N_2 y N_2O gaseoso es indeseable debido a que se pierde nitrógeno del suelo.

La mineralización del azufre se ve afectada por aquellos factores que influyen en el desarrollo de los microorganismos tales como: temperatura, humedad, pH y disponibilidad de alimento; la mineralización se detiene notoriamente a 10°C e incrementa entre 20 y 40°C . Igualmente, ésta se retarda con niveles de humedad por debajo del 15% o sucede cuando este valor supera el 80%, teniendo un porcentaje óptimo del 60% de humedad. El valor más indicado de pH para este proceso se encuentra alrededor de 7.5. Teniendo en cuenta que estas son las condiciones bajo las cuales se produce un AOF, (humedad, temperatura, pH y falta de oxígeno) el azufre pasa por un proceso de mineralización adecuado, disponible de manera inmediata para las plantas.

Bacterias Celulolíticas

Según Primavesi (1984) los organismos que fijan nitrógeno aparecen en compañía de bacterias capaces de descomponer celulosa, ya que utilizan los productos intermedios de esta descomposición. Por esta razón, no es importante inocular semillas o suelos con fijadores de nitrógeno sino dar las condiciones para que estos puedan trabajar.

Los reportes de microorganismos celulolíticos en el Bocashi de 120 días tienen un valor de $43 \times 10^4 \text{ UFC/g}$ (gráfica 1) teniendo como fuente de alimento el aserrín y el estiércol, que van degradando lentamente junto con otros organismos. El valor reportado para el suelo es $28 \times 10^3 \text{ UFC/g}$ (gráfica 2), donde existe una mayor competencia por fuentes de celulosa y además termina el proceso de humificación del Bocashi. Las bacterias celulolíticas no movilizan nutrientes; pero, facilitan la formación de agregados, al segregar ácidos poliurónicos que tienen carácter coloidal, producido especialmente por *Cytophaga* y *Sporocytophaga*. ■

BIBLIOGRAFÍA

- GAZTON-BIELO, J. y VALLÓN, M. (1979). Fundamentos de fructos y vegetales. Universidad de Barcelona, México, España.
- BEYDER, M. (1985). Aproximata de la materia orgánica del suelo. Monografía seminario de microbiología y bioquímica de los ribosomas orgánicos, temas de nutrición y riego. Tuna. Fundación Universitaria Juan de Castellanos.
- SOREN, H. (1981). *et al* (1981). Química del Suelo. Limusa, México.
- SIMBAND, H. (1989). El suelo una visión moderna, comprensión biológica. Universidad de Bogotá, Bogotá, Colombia.
- PASSENDER, J. J. (1981). Química de suelos, con énfasis en suelos de América Latina. IICA. San José de Costa Rica.
- CHARRÉ, F. (1985). Aportes de los microorganismos del suelo. Monografía seminario de microbiología y bioquímica de los ribosomas orgánicos, temas de nutrición y riego. Fundación Universitaria Juan de Castellanos, Tuna.
- GARCÍA, G. G. (1981). Agricultura orgánica. Memorias del Simposio Centroamericano. La agricultura orgánica. Diferencia San José de Costa Rica.
- MARTÍNEZ, R. J. (1981). Ciclo biológico de nitrógeno en el suelo. Ministerio de Cultura. Centro de Estudios Científicos, La Habana, Cuba.
- MALAGÓN, R. (1983). "Estrategia sobre nutrición de plantas". En: Rev. Académica Universidad de Las Américas, Bogotá, Colombia. N.º 14, pp. 55-61. Centro de Estudios Científicos, La Habana, Cuba.
- PRIMAVESI, J. (1984). Manual ecológico de suelo. Q. Aizawa, Buenos Aires.
- SANCHEZ, M. J. (1988). Encomiendas, en Agroecología. Universidad Nacional de Colombia. Sede Bogotá.
- SANCHEZ, M. et al. (2000). Microbiología aplicada. Fundamentos. Universidad Nacional de Colombia. Sede Palmira.