

Función degradativa de biofertilizantes a partir de inceptisoles y la prueba de microdiscos de celulosa en Finca Agua, Sarapiquí-Costa Rica

SELENE MURILLO^{1*} & WAGNER PEÑA^{1,2}

1. Escuela de Ciencias Exactas y Naturales, UNED.

2. Cátedra Gestión sostenible del suelo, ECEN-UNED wpena@uned.ac.cr.

* Parte del TFG en Manejo de Recursos Naturales (MARENA), correo: selene.murillo@gmail.com

Recibido: 16 enero 2014

Aceptado: 19 abril 2014

RESUMEN

El suelo es considerado un ecosistema frágil donde coexisten organismos y factores ambientales, por lo que estas relaciones determinarán la funcionalidad del mismo. Se demuestra la función de los microorganismos eficientes (EM's) en biofertilizantes elaborados a partir de inceptisoles con diferentes uso en una finca integral de la zona de Horquetas (Sarapiquí, Heredia). Los microorganismos fueron extraídos de un suelo de bosque que está en conservación o conservado (A), un suelo alterado que proviene de bosque secundario o en regeneración (B) y un suelo de pastizal (C). Para determinar su eficiencia, cada biofertilizante elaborado fue aplicado a muestras iguales de suelo testigo con lombricompost, junto con discos de celulosa para su degradación, dispuestas en tres tratamientos por cinco réplicas con períodos de maduración de 15 días, para un total de 45 días de estudio. Los tratamientos fueron analizados mediante el análisis físico y químico de cada tratamiento y la observación de la degradación de discos de celulosa. Entre sus principales resultados, destacan los mayores valores de las características físicas y químicas en los tratamientos A y B conforme aumenta el tiempo de maduración, de lo cual se comprueba la mayor mineralización con respecto al tratamiento C; también destaca la disminución del nivel de acidez (pH), el desbalance por potasio, buena relación Ca/Mg y un nivel alto de fertilidad del suelo. Asimismo, es importante observar que el efecto de aplicación de enmiendas naturales permite potenciar el nivel de mineralización del suelo.

Palabras clave: suelos, manejo, actividad microbiana, degradación, abono.

ABSTRACT

The soil is considered a fragile ecosystem where organisms coexist and environmental factors, so these relationships determine the functionality. The role of effective microorganisms (EM 's) biofertilizers made from different inceptisols

use an integrated farm area Horquetas (Sarapiquí, Heredia) is demonstrated. Microorganisms were extracted from a forest soil conservation (A), an altered soil comes from secondary forest or regenerating (B) and a grassland soil (C). To determine its efficiency, each biofertilizer prepared was applied to the same samples control soil with vermicompost along with cellulose discs for degradation, arranged in three treatments of five replicates with maturity periods of 15 days, for a total of 45 days study. Treatments were analyzed by the physical and chemical analysis of each treatment and the observation of the degradation of cellulose disks. Among its key findings, especially the higher values of the physical and chemical characteristics in A and B treatments with increasing aging time, which the greater mineralization with respect to "B" is checked, also highlights the decreased level of acidity (pH), the imbalance in potassium, good Ca / Mg and a high level of soil fertility. It is also important to note that the effect of applying natural amendments enhances a level ground mineralization.

Key words: soil management, microbial activity, degradation, fertilizer, organic manure, compost.

Introducción

En un ambiente natural, los microorganismos del suelo tienen como función principal, entre otras, la humificación y mineralización de la materia orgánica que devuelve al suelo la fertilidad perdida en el proceso de nutrición de las plantas, restaurándose de esa forma el equilibrio natural del suelo. Esta es parte de las tres funciones básicas de un suelo ideal: capaz de filtrar cualquier líquido, capaz de producir alimentos y sostener la flora y capaz de degradar cualquier compuesto orgánico (White 1997). No obstante, cuando el medio edáfico es alterado, ya sea en un campo agrícola rural o en prácticas urbanas,

como la deshierba, la aplicación de agroquímicos, la rastra o la simple remoción de rastrojos, provoca que disminuyan los niveles de materia orgánica y, como consecuencia, la biota y su actividad que mantiene el equilibrio del suelo (Tate 2000, Peña 2012). Las prácticas de manejo sostenible de los agroecosistemas actuales han permitido reactivar la materia orgánica al suelo mediante la aplicación de diferentes enmiendas, utilizando desechos orgánicos provenientes de fuentes diversas y el uso de “microorganismos eficientes”, que aceleran la mineralización de los nutrientes. Los microorganismos pueden ser obtenidos de la misma naturaleza, especialmente de los bosques donde logran desarrollarse en equilibrio con los factores ambientales que son parte de la formación de un suelo (Peña 2012).

Por lo anterior, es importante determinar la dinámica de la mineralización que provoca la actividad microbiana, mediante pruebas de degradación del sustrato orgánico. Para ello, se ubicó en Horquetas de Sarapiquí un sitio donde se obtuvieron las cepas microbianas y se comparó

la eficiencia de las colonias microbianas que existen en el ecosistema; esto logra disponer de información veraz acerca de la naturaleza de suelos de la región de estudio y las prácticas de manejo de suelo efectivas para incrementar la productividad de las plantas, que será útil en el manejo de los recursos naturales.

Materiales y métodos

Se elaboró tres biofertilizantes con microorganismos disponibles obtenidos de un suelo inceptisol de microambientes diferentes en una finca integral con manejo de bosque conservado o en conservación, bosque en regeneración y potrero (pastizal). Asimismo, fue importante estimar la eficiencia degradativa de cada biofertilizante elaborado a través de la mineralización e indicadores biológicos.

Según el IGN, el área está ubicada en la Región Huetar Atlántica, específicamente en las vegas del caserío de “Finca-Agua”, poblado Rambla en el distrito de Villa Horquetas, cantón 10 de Sarapiquí en la provincia 4 de Heredia,

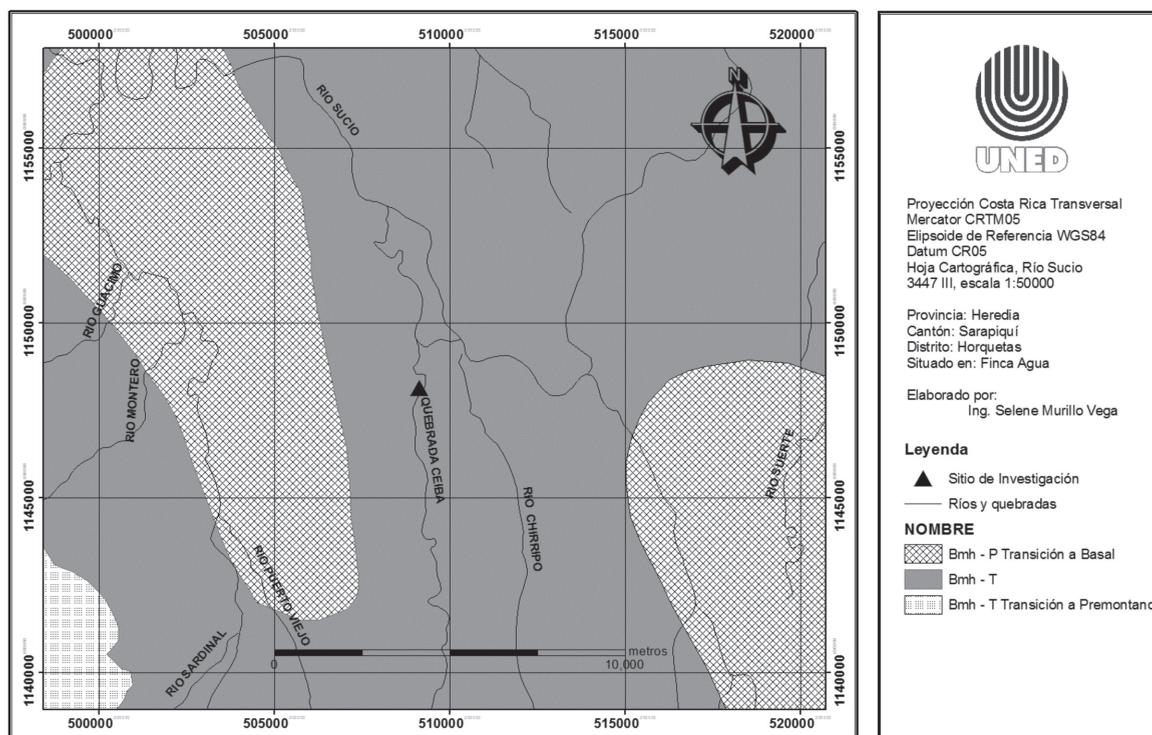


Figura 1. Ubicación del área de estudio según la zona de vida. Nota: 10°20'36" N, 83°57'42" O, elevación 68 msnm. Finca Integral El Guarumo.

Costa Rica. El clima predominante en la Finca Integral El Guarumo corresponde a la zona de vida Bosque muy húmedo tropical, a lo largo de la Quebrada La Ceiba (figura 1).

En cuanto a los suelos, es de uso mixto, es decir, agricultura anual, agricultura permanente, ganadería, uso de bosque y protección. Los suelos del distrito de Horquetas son del orden taxonómico Inceptisoles y pertenecen a la unidad de suelo Typic Humitropept, con una asociación a Typic Dystropept. Estos suelos se caracterizan por ser planos, poco o moderadamente profundos (Peña 2012). Cuentan con una textura de media a moderadamente fina y su color es oscuro a pardo fuerte, con capacidad de drenaje y permeabilidad moderada. Los suelos presentan limitaciones o deficiencias en la zona radicular, tal como poca profundidad efectiva, texturas pesadas o livianas, pedregosidad o rocosidad, entre otras. Las principales limitaciones de estas tierras son la fuerte susceptibilidad a la erosión, poca profundidad efectiva, baja fertilidad del subsuelo y la sobresaturación de humedad debido a las frecuentes inundaciones.

Para demostrar la eficiencia de la función degradativa de las actividades microbianas disponibles provenientes de ambientes naturales o en conservación, como los bosques, en comparación con aquellas de ambientes bajo condiciones de alteración o disturbados, como los pastizales, se realizó un ensayo experimental en dos fases. Una que consistió en obtener la mezcla de cepas microbianas que se han desarrollado en el mantillo del suelo o capa del horizonte superficial, en cada uno de los tres diferentes microambientes: bosque conservado, bosque en regeneración

y potrero, mediante la técnica de incubación en campo con tela de nylon en 10 días naturales, los cuales son reproducidos posteriormente en un caldo energético con melaza (biofertilizante líquido). Los caldos microbianos o biofertilizantes líquidos son madurados en muestras de suelo, donde se aplicaron por tratamiento en el día: 1°, 15° y 30°. Para el análisis de los suelos, se obtuvieron muestras al día 15, 30 y 45, siendo el control el día 1° donde no recibió aplicación.

Como segunda fase, se determinó la función degradativa de los sustratos aplicados en las muestras de suelo, mediante la disposición de 22 bocados de celulosa (microdiscos o círculos de papel) por plato *Petri* en un arreglo factorial de 3 x 5 réplicas por cada tratamiento, para un total de 50 platos *Petri* (cuadro 1).

El análisis de suelos se realizó con base en 7 muestras del sustrato: sustrato original (obtenida desde el día 1°, "S"), las obtenidas durante el día 15° (A1,B1,C1); y las muestras del día 45° (A3,B3,C3). El estudio consistió en realizar un análisis químico completo conformado por los siguientes parámetros: pH, Al, Ca, Mg, K, P, Zn, Cu, Fe, Mn, N, MO, y humedad (Laboratorio INTA/MAG). Dichos análisis se realizaron bajo las técnicas de Olsen Modificado y KCl, expresado en base seca (Cabalceta y Molina, 2006) y analizado para su interpretación según las condiciones del trópico (Bertsch 1996, Arias 1998, Molina y Meléndez 2002, Muñoz 2011, Peña 2012). Además de lo anterior, se analizó la degradación mediante el criterio experto y una escala de las observaciones que hubo sobre los microdiscos dispuestos en las muestras de suelo,

CUADRO 1
Distribución codificada del muestreo a los 15, 30 y 45 días

Tratamiento	Muestreo			
	1° (día 1)	2° (día 15)	3° (día 30)	4° (día 45)
S	S1, S2, S3, S4, S5	-	-	-
A	-	A1.1, A1.2, A1.3, A1.4, A1.5	A2.1, A2.2, A2.3, A2.4, A2.5	A3.1, A3.2, A3.3, A3.4, A3.5
B	-	B1.1, B1.2, B1.3, B1.4, B1.5	B2.1, B2.2, B2.3, B2.4, B2.5	B3.1, B3.2, B3.3, B3.4, B3.5
C	-	C1.1, C1.2, C1.3, C1.4, C1.5	C3.1, C3.2, C3.3, C3.4, C3.5	C3.1, C3.2, C3.3, C3.4, C3.5

Nota: S= sustrato original (sin biofertilizante), A= con sustrato de bosque conservado, B= con sustrato de bosque en regeneración, C= con sustrato de potrero. Los número de 1 al 5 indican las réplicas de cada tratamiento.

CUADRO 2

Propiedades físicas y químicas del suelo utilizado en Finca Agua-Horquetas (Enero, 2012)

Elemento	Unidades	Valores de referencia**	Valores observados
pH	—	5,5-6,5	7,2
Acidez	cmol(+)-l ⁻¹	0,3-1,0	0,2
Ca	cmol(+)-l ⁻¹	4-6	7,3
Mg	cmol(+)-l ⁻¹	1-3	4,7
K	cmol(+)-l ⁻¹	0,2-0,5	7,2
Relaciones catiónicas:			
ClCe	cmol(+)-l ⁻¹	5-25	19,4
Suma de cationes	cmol(+)-l ⁻¹	5-12	19,2
Ca/Mg	cmol(+)-l ⁻¹	2-5	1,55
Ca/K	cmol(+)-l ⁻¹	5-25	1,01
Mg/K	cmol(+)-l ⁻¹	2,5-15	0,65
(Ca+Mg)/K	cmol(+)-l ⁻¹	10-40	1,67
Saturación de acidez	%	10-30	35,1
Saturación de bases	%	>50	98,9
N	%	0,6-1,0	0,15
M.O.S.*	%	2-5	3,01
P	mg·l ⁻¹	12-20	114
Fe	mg·l ⁻¹	5-10	49
Mn	mg·l ⁻¹	5-10	16
Cu	mg·l ⁻¹	0,5-1	1
Zn	mg·l ⁻¹	2-3	15,4
B	mg·l ⁻¹	0,2-0,5	ND
S	mg·l ⁻¹	12-20	ND

ND= Dato no disponible. pH en agua 1:2,5.

Ca, Mg y acidez o Al extraíbles con KCl 1M., valor medio en Al interc. 0,3 cmol(+)-l⁻¹.

P, K, Fe, Cu, Zn y Mn extraíbles con Olsen modificado. B y S extraíbles con fosfato de calcio

V: Saturación de bases: Ca+Mg+K/ClCe. ClCe = Ca+Mg+K+Al. N: nitrógeno total mediante Kjendahl

*M.O.S. = materia orgánica del suelo mediante digestión húmeda (K₂Cr₂O₇/K₂SO₄), valor en ultisoles.

** Valores de referencia: ACCS. Bertsch 1996, 1995, Henríquez et al 1998, MAG 1992.

igualmente se observaron al 1°, 15°, 30° y 45° días de incubación.

Resultados

Previo a valorar la dinámica de mineralización de los tratamientos experimentados, fue importante caracterizar el suelo utilizado como unidad experimental de control, destacando los valores de pH y elementos esenciales, que son mayores que los de referencia.

Luego de aplicar el sustrato líquido biofertilizante sobre las muestras de suelo, se caracterizó químicamente el sustrato orgánico resultante. Esta caracterización fue para valorar

la mineralización o grado de madurez de cada una de las muestras a los 15 y 45 días (cuadro 3).

Según la caracterización química de los sustratos suelo-biofertilizante, se observa que las primeras muestras recolectadas presentan valores ligeramente menores que al finalizar la fase experimental, es decir a los 45 días, aunque ambos grupos de muestras con valores superiores a los de referencia. Este aspecto no se notó en las relaciones catiónicas y ligeramente con los elementos menores.

En cuanto a la degradación de microdiscos de celulosa, los resultados del color fueron bajos al inicio de la fase experimental y altos en cuanto a la consistencia, pero poco a poco fue

CUADRO 3
Caracterización química de los tres sustratos suelo-biofertilizante obtenidos a los 15 y 45 días de maduración

Elemento	Unidades	Valores de referencia*	Valores del sustrato					
			15 días*** (al inicio)			45 días*** (al final)		
			A1	B1	C1	A2	B2	C2
pH	--	5,5-6,5	5,90	6,70	6,80	6,90	7,10	7,20
Acidez	cmol(+)-l ⁻¹	0,3-1,0	1,35	3,40	1,55	2,30	2,00	2,80
Ca	cmol(+)-l ⁻¹	4-6	6,90	7,00	0,20	7,60	6,60	4,40
Mg	cmol(+)-l ⁻¹	1-3	4,70	4,70	6,00	5,10	4,40	5,20
K	cmol(+)-l ⁻¹	0,2-0,5	7,0	6,73	4,20	7,04	6,92	6,24

cmol(+)-l⁻¹ = centimol de carga por cada litro de sustrato.

Relaciones catiónicas								
Elemento	Unidades	Valores de referencia*	Valores del sustrato					
			15 días*** (al inicio)			45 días*** (al final)		
			A1	B1	C1	A2	B2	C2
CICe	cmol(+)-l ⁻¹	5-25	18,8	18,63	16,8	19,99	18,07	18,54
S.Cationes	cmol(+)-l ⁻¹	5-12	18,6	18,43	16,60	19,74	17,92	18,34
Ca/Mg	cmol(+)-l ⁻¹	2-5	1,47	1,49	1,43	1,49	1,50	1,33
Ca/K	cmol(+)-l ⁻¹	5-25	0,99	1,04	0,94	1,08	0,95	1,11
Mg/K	cmol(+)-l ⁻¹	2,5-15	0,67	0,70	0,66	0,72	0,64	0,83
(Ca+Mg)/K	cmol(+)-l ⁻¹	10-40	1,66	1,74	1,59	1,80	1,59	1,94
SA	%	10-30	20,2	62,4	23,3	42,4	41,8	35,4
V	%	>50	98,9	98,9	61,9	98,7	99,2	85,4
N	%	0,6-1,0	0,16	0,14	0,12	0,14	0,12	0,15
M.O.**	%	2-5	3,31	2,72	2,41	2,72	2,42	3,01
P	mg-l ⁻¹	12-20	106,0	62,0	66,0	107,0	139,0	156,0
Fe	mg-l ⁻¹	5-10	60,0	54,0	45,0	67,0	89,0	88,0
Mn	mg-l ⁻¹	5-10	10,0	14,0	14,0	17,0	10,0	8,0
Cu	mg-l ⁻¹	0,5-1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Zn	mg-l ⁻¹	2-3	15,4	15,4	12,5	17,1	14,0	13,7
B	mg-l ⁻¹	0,2-0,5	ND	ND	ND	ND	ND	ND
S	mg-l ⁻¹	12-20	ND	ND	ND	ND	ND	ND

pH en agua 1:2,5. Ca, Mg y acidez o Al extraíbles con KCl 1M., valor medio en Al interc.0,3 cmol(+)/l.

P, K, Fe, Cu, Zn y Mn extraíbles con Olsen modificado.

B y S extraíbles con fosfato de calcio. S.cationes= suma de cationes: Ca+Mg+K.

*M. O. = materia orgánica mediante digestión húmeda (K₂Cr₂O₇/K₂SO₄), valor en ultisoles

N: nitrógeno total mediante Kjendahl o plasma.

V: Saturación de bases: Ca+Mg+K/CICe. CICe = Ca+Mg+K+Al.

SA: Saturación de aluminio.

** Valores de referencia: ACCS. Bertsch 1996, 1995, Henríquez et al 1998, MAG 1992.

*** Días de maduración del sustrato biofertilizante.

Sustrato: **A**- Bosque en conservación, **B**- Bosque en regeneración, **C**- Potrero. El subíndice representa el tiempo de maduración del sustrato: **1**- al inicio del período del estudio, **2**- al final del período del estudio.

cambiando estas variables hasta observarse a los 45 días de incubación la variabilidad de acuerdo al grado de mineralización que posiblemente esté influyendo sobre los sustratos

suelo-biofertilizante, sobre todo en las muestras del sustrato A, cuyas colonias microbianas provienen del bosque o hábitat conservado, lo que evidencia la alta actividad microbiana en un sitio

bastante equilibrado (Peña 2012), llama la atención el bajo valor con el sustrato que proviene del suelo de potrero (sustrato C), que es de suponer hay una baja actividad microbiana.

En resumen, hay una clara diferencia de la actividad microbiana en el sustrato del bosque en conservación (A) con respecto al del potrero (sustrato C), evidenciado siempre por el porcentaje de degradación de los microdiscos de celulosa (Cuadro 4 y figura 2).

Al estimar la eficiencia degradativa de los biofertilizantes elaborados durante el estudio, se

CUADRO 4

Degradación promedio de los microdiscos (en %) según el sustrato del suelo-biofertilizante a los 15, 30, y 45 días de maduración

Sustrato	Porcentaje de degradación de microdiscos		
	Tiempo (en días)		
	(15)	(30)	(45)
A	7,27	25,00	53,78
B	5,00	13,80	39,00
C	1,00	12,00	24,00

Nota: Sustratos-suelo: A- Bosque en conservación, B- Bosque en regeneración, C- Potrero.

Nivel de degradación (escala de observaciones): Bajo- 0-25% (color café, consistencia alta), Medio: 26-50% (color gris, consistencia media), Alto: > 50% (color negro, consistencia baja).

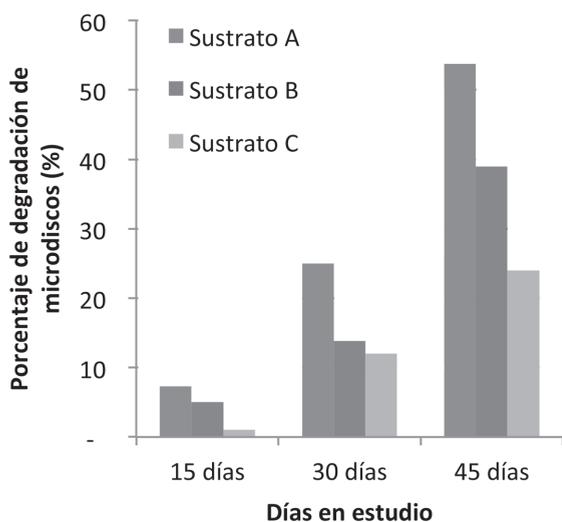


Figura 2. Degradación promedio de los microdiscos según el sustrato de suelo-biofertilizante a los 15, 30, y 45 días de maduración, Finca Agua-Horquetas (Enero, 2012). Sustrato: A- Bosque en conservación, B- Bosque en regeneración, C- Potrero.

puede indicar que conforme pasan los días la degradación aumenta significadamente, sobre todo en el sustrato obtenido del bosque conservado (A), pero no fue tan evidente en aquel obtenido del ambiente de potrero. Arias (1998), señala que aquellos suelos disturbados, como los obtenidos del potrero, en este caso, la actividad microbiana es mucho menor que la encontrada en suelos de bosques. Igualmente, hay diferencias entre los órdenes de suelo si se comparan aquellos que presentan los bosques con los ambientes disturbados. Como indica Peña (2012), los inceptisoles de esta zona son de baja fertilidad, tanto química como físicamente. Además, son susceptibles a la erosión y -si hay mayor presencia de arenas- posiblemente sean susceptibles a la contaminación, por consiguiente difíciles de recuperar.

Como en este caso, los sustratos obtenidos de bosque conservado y en regeneración, al parecer, logran una mejor degradación de los materiales orgánicos, posiblemente debido a la variedad de cepas de microorganismos existentes en los ambientes equilibrados (White 1997, Tate 2000). Pero de acuerdo a Nuñez (2001), la afectación del suelo podría ser debido al pisoteo continuo por la carga animal, unido a la disminución de cobertura vegetal, puede provocar un aumento en la densidad aparente del suelo, una disminución del pH, y por consiguiente, un detrimento en los niveles de elementos esenciales, todo esto provoca que se de una disminución en la capacidad degradativa de los suelos.

De forma relativa, es evidente que aquellos sustratos obtenidos de bosque presenten una mayor degradación relativa de materiales orgánicos, como los microdiscos ensayados. Sobre el 50% de diferencia fue la capacidad degradativa de aquellos sustratos obtenidos del bosque conservado y en regeneración, con respecto al obtenido del potrero, lo cual confirma que la función degradativa de aquellos ambientes en equilibrio pueden degradar mejor que aquellos alterados.

Conclusiones

Al estudiar un suelo de bosque, el investigador puede encontrar una alta variabilidad

en cuanto a sus propiedades básicas, ya que la fertilidad natural de los ecosistemas tiende a cambiar conforme los factores formadores influyen sobre éstos.

La posible disponibilidad del material orgánico influye sobre las características cualitativas de los biofertilizantes elaborados, sobre todo en los preparados a partir de sustrato de bosque conservado en sus cualidades físicas como el olor. Asimismo afecta la función degradativa.

Los bajos niveles en las características cualitativas observadas en los biofertilizantes estarían relacionados con el nivel de organismos en el suelo, ya que en los sitios disturbados hay una mayor acumulación del material orgánico y menor actividad microbiana.

La función básica de los microorganismos del suelo y de los sustratos aprovechados para la elaboración de los biofertilizantes se basa en el metabolismo que se puede observar y diferenciar entre estos. En otras palabras, en los sitios conservados se observa una mejor función degradativa que en los sitios disturbados, debido al equilibrio ecológico que existe en los ambientes naturales.

En la elaboración de los biofertilizantes, el uso de lombricompost beneficia la calidad de éstos pero se debe tener cuidado ya que puede alterar los niveles de potasio hasta cinco veces mayores que otros abonos, por lo que se recomienda utilizar una proporción 20/80 máximo.

De acuerdo con lo anterior, para mejorar los niveles de mineralización del suelo se recomienda la aplicación de los biofertilizantes elaborados a base de cepas de EM's obtenidas de ambientes naturales en donde el equilibrio natural ofrece un potencial mayor en la capacidad de mineralización y humificación de la materia orgánica. Así mismo, el aprovechamiento de este recurso natural permite la reducción de costos asociados con el proceso productivo del agroecosistema al disminuirse el empleo de fertilizantes químicos que, por su alto costo, afectan de forma significativa la economía de las familias de la zona.

Referencias

- ACUÑA, O.; PEÑA, W.; SERRANO, E.; POCASANGRE, L.; ROSALES, F.; DELGADO, E.; TREJOS, J., SEGURA, A. 2006. La importancia de los microorganismos en la calidad y salud de suelos. ACORBAT.
- ARIAS, A 1998. Suelos Tropicales. EUNED. San José, Costa Rica. 182 p.
- BERTSCH F. 1996. La fertilidad de los suelos y su manejo. San José: ACCS.
- CABALCETA G y M. MOLINA 2006. Niveles críticos de nutrientes en suelos de Costa Rica utilizando la solución extractora Mehlich-3. *Agronomía costarricense* 30(2): 31-44.
- MELÉNDEZ, G; SOTO, G. 2003. Indicadores químicos de calidad de abonos orgánicos. In Meléndez, G; Soto, G; Uribe, L. eds. *Abonos Orgánicos: principios, características e impacto en la agricultura*. Costa Rica, CATIE, UCR.
- MOLINA E.; MELÉNDEZ G. 2002. Tabla de interpretación de análisis de suelos. Centro de Investigaciones Agronómicas, Universidad de Costa Rica.
- MUÑOZ R. 2011. Manual de laboratorio de edafología. San José: EUNED.
- NUÑEZ J. 2001. Fundamentos de Edafología. 4 reimp. 2ª ed. EUNED.
- PEÑA, W. 2012. Edafología para el trópico. San José: EUNED (preliminar).
- _____. 2012. Carbono lábil de la materia orgánica del suelo. *Repertorio Científico (UNED)* 15(2): 29-32.
- PORTA J., M. LÓPEZ-ACEVEDO, C. ROQUERO. 2003. Edafología: para la agricultura y el medio ambiente. Madrid: 3ª edición, Mundi-Prensa.
- SOIL SURVEY STAFF (SSS). 2010. Keys to Soil Taxonomy. Washington DC: 11th ed., USDA-Natural Resources Conservation Service.
- TATE R. L. 2000. Soil microbiology. N.Y.: 2nd ed., John Wiley & Sons.
- WHITE R. E. 1997. Principles and practice of soil science: the soil as a natural resource. U.K: 3rd ed. Blackwell Science. 348 p.

