

Indicadores de actividad biológica en suelos con diferentes grados de intervención en el Ecoparque Cerro de la Bandera

C. F. Zapata M.¹ M. Sánchez de P.² N. Massae Azakawa³

COMPENDIO

En el Ecoparque Cerro de la Bandera, zona dedicada muchos años a la explotación carbonífera, se evaluó el efecto de dicha práctica sobre propiedades fisicoquímicas y flora microbiana de sus suelos. En tres zonas, bosque nativo (BP); zona intervenida en proceso de regeneración (BS); Zona erosionada (SE) se realizaron muestreos en octubre del 98 y enero del 99. Se presentaron diferencias altamente significativas entre los suelos intervenidos para las variables bacterias simbióticas y asimbióticas fijadoras de N₂, mineralización del nitrógeno hongos formadores de micorriza (HMA) y biomasa microbiana. La actividad minera afectó condiciones físicas, químicas y biológicas de los suelos en BS y SE, situación que se reflejó en aumentos de densidades, detrimientos de materia orgánica, nitrógeno y fósforo, poblaciones microbianas y su actividad. A pesar del deterioro de los suelos BS y SE conservan una reserva de vida representada por su componente vegetal y microbiológico, los que se constituyen en elementos claves para posteriores actividades de regeneración de la zona.

Palabras clave: fijadores de nitrógeno, biomasa microbiana, mineralización, micorrizas, conservación, rehabilitación

ABSTRACT

In the Ecoparque La Bandera, area dedicated many years to the carbon extraction, the effect of this practice was evaluated, on the physical and chemical properties of soil and on the microbial flora. Three areas were chosen: native forest (BP); exploited area in regeneration process (BS); eroded area (SE). Samples were collected from October 1998 to January 1999. Highly significant differences were observed between the BS soils samples intervened for all the above mentioned parameters with the exception of total bacteria. It was concluded that the mining activity affected the physical, chemical and biological conditions of the soils in BS and SE, situation that was reflected in increases of density, decrease in of organic matter, nitrogen and phosphorus, microbial populations and activity. Despite of the deterioration of the BS and SE soils, the latter still have a significant microbial population that allows plant growth, which is very important for further rehabilitation activity.

Key words: carbon extraction, regeneration process, physical properties, chemical properties, microbial flora.

INTRODUCCIÓN

Los suelos al quedar descubiertos son presa fácil de agentes degradativos como el agua y el viento, las plantas que crecen y se desarrollan en ellos quedan sin sostén y no sólo se deteriora el suelo sino también la comunidad microbiana asociada con los vegetales, la cual en los sistemas ecológicos maduros comprende

un complejo de organismos altamente interrelacionados en ciclos tróficos y de vida. Este sistema microbiano es afectado negativamente cuando se disturba el suelo y por ende las plantas (Primavesi, 1982; Siquiera *et al*, 1994; Pla, 1994).

Es difícil restablecer una comunidad de plantas erradicada sin restaurar el subsistema microbiano, aun proporcionando una fuente de nutrientes fácilmente aprovechables, mientras la comunidad microbiana recoloniza el sitio

Un ejemplo claro se observa en el Ecoparque Cerro de la Bandera ubicado en la ciudad de Santiago de Cali. Hasta hace diez años fue centro de explotación de carbón en socavón y a cielo abierto; allí no se aplicaron normas técnicas para la extracción del mineral,

1 Ingeniero Agrónomo M.Sc Universidad Nacional de Colombia
czapata@latinmail.com

2 Ingeniera Agrónoma M.Sc Universidad Nacional de Colombia
fitopatología@palmira.unal.edu.co

3 Bióloga M.Sc. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT)
n.asakawa@cgiar.org

lo que llevó a dicha zona a un estado severo de degradación, pues se arrasó con gran parte de la vegetación, dejando el suelo a merced de agentes erosivos, principalmente la lluvia y el viento, cuyos efectos fueron favorecidos por la elevada y larga pendiente característica de la mayoría de las zonas de este cerro.

A pesar de lo anterior, en el cerro de La Bandera quedan pequeñas áreas que aún presentan vegetación nativa compuesta por cerca de 171 especies (Correa y Martínez, 1996). También hay algunas zonas donde se han establecido reductos boscosos secundarios.

Esta investigación parte de la hipótesis de que existe relación estrecha entre la vida vegetal y la actividad microbiana en el suelo. Trabajos que involucren el reconocimiento cuantitativo y cualitativo de poblaciones microbianas en suelos con diferentes grados de intervención, acercan a la comprensión de estas relaciones y la posibilidad de actuar sobre ellas generando alternativas para la rehabilitación de zonas erosionadas (Franco *et al.*, 1994; Pla, 1994).

Dentro de esta perspectiva se planeó el presente trabajo, cuyos objetivos centrales fueron:

Estudiar algunas características físico-químicas en suelos con diferentes grados de intervención en el Ecoparque Cerro de la Bandera.

Observar los cambios que se suscitan en la actividad microbiana en dichos suelos.

Establecer relaciones entre estas características y el grado de intervención de los mismos.

MATERIALES Y MÉTODOS

El Ecoparque Cerro de la Bandera está ubicado en la ciudad de Santiago de Cali, en el piedemonte de la cordillera Occidental. Consta de 150 ha, con rango de altitud de 1.000 m hasta 1.150 m, relieve fuertemente quebrado, pendientes entre 25% y 50% a escarpado, con pendientes entre 80% y 100%. La precipitación anual es de 1.000 a 1.200 mm, temperatura promedio de 24°C y humedad relativa entre 60% y 70% en los meses húmedos y menores de 60% en períodos secos (Correa y Martínez, 1996).

El área de estudio se dividió en tres zonas:

Bosque primario (BP): Predomina bosque nativo donde se observa diversidad de especies vegetales y ha sufrido mínima intervención humana.

Bosque secundario (BS): Este sitio fue intervenido en años anteriores. Actualmente se presentan procesos de regeneración y sucesión vegetal.

Suelos erosionados (SE): Con alto grado de perturbación, algunos sitios están completamente erosionados y en otros prevalece vegetación pionera, compuesta por algunas leguminosas y gramíneas.

En octubre 1998 y enero 1999 se realizaron muestreos estratificados en las tres zonas. De los primeros 10 cm del suelo se obtuvieron 10 submuestras tomadas al azar a partir de las cuales se conformó una muestra de aproximadamente 1 kg por zona. Las muestras se homogenizaron y almacenaron en nevera.

Las variables evaluadas fueron:

Propiedades físico-químicas

En cada zona se determinó textura (Bouyoucos), densidad aparente (parafina), densidad real (picnómetro volumétrico) y porosidad total; N (oxidación de Kjeldahl), C (Walkey y Black), fósforo (método de Bray II) y pH (potenciómetro).

Propiedades microbiológicas

El tamaño de las poblaciones bacterianas del suelo se estimó por el método de diluciones sucesivas y conteo de colonias en caja de Petri, utilizando agar nutritivo. Se tomaron 10 g de cada uno de los suelos y se agregaron en 90 ml de solución diluyente. Se efectuaron diluciones desde 10-4 hasta 10-9 realizando tres repeticiones por dilución. Las cajas se incubaron por 48 horas a 28°C. Se estimó el número de colonias bacterianas desarrolladas en cada una de las diluciones procediendo a calcular los promedios ponderados por gramo de suelo seco (u.f.c.b./g.s.s). (Llanos y Sánchez de P., 1982).

El tamaño de la población nativa de rizobios del suelo se estimó por el método del número más probable (NMP), el cual permite interpretar los resultados con base en una distribución de tipo Poisson, empleando tablas preparadas de acuerdo con la presencia o no de nódulos en plantas indicadoras, utilizando en este caso la leguminosa siratro, *Macroptilium atropurpureum*.

Se utilizaron tubos de ensayo que contenían el medio de cultivo Jensen, donde se sembró una semilla de siratro desinfestada, escarificada y pregerminada. Durante tres días se dejó crecer la planta, se inoculó con solución de suelo y diluyente (Tween) en una relación de 10g:90ml, preparando diluciones decimales de 10-2 a 10-7. Se utilizaron cuatro tubos por dilución y se inoculó cada uno de ellos con 1ml de la solución. Las plántulas se guardaron en cuarto de crecimiento en condiciones controladas de temperatura y luminosidad. A la quinta semana se realizaron las evaluaciones de nodulación y NMP de rizobios (CIAT, 1988).

El tamaño de la población de bacterias asimbióticas fijadoras de nitrógeno se estimó por el método de diluciones sucesivas y conteo de colonias

formadas en cajas de Petri. Se tomaron 10 g de cada uno de los suelos y se agregaron en 90 ml de solución diluyente. Se efectuaron diluciones desde 10^{-4} hasta 10^{-9} . El medio de cultivo utilizado para la siembra fue el de Ashby, medio libre de nitrógeno. Después de 48 y 72 horas a 28°C se estimó el número de colonias bacterianas desarrolladas en cada una de las diluciones procediendo a calcular los promedios ponderados del número de bacterias/g.s.s. (Aguilar *et al.*, 1996)

La mineralización del nitrógeno se midió por el método de incubación anaeróbica (Anderson e Ingran, 1993) que permite estimar los contenidos de amonio y nitratos producidos en el proceso de mineralización.

Para ello se pesaron 10 g de suelo seco al aire de cada muestra, se les adicionaron 25 ml de agua bidestilada y deionizada. Se guardaron en frascos plásticos y se incubaron a 30°C por 7 días. En el inicio (T_0) y final de la incubación (T_7), se les agregaron 25 ml de solución KCl 1M, agitándose por 30 minutos. Los extractos se decantaron a través de papel filtro y al filtrado se le determinó el contenido de amonio por medio de espectrofotometría automatizada (CIAT, 1993). Se realizaron tres repeticiones por cada uno de los suelos estudiados.

En la cuantificación de esporas de hongos micorrílicos se siguió la metodología descrita por Sieverding (1983). En beakers de 250 ml se mezclaron 50 g de suelo de cada una de las muestras con 100 ml de agua, agitando fuertemente. La suspensión se vació en un tamiz de $45\mu\text{m}$ colocado sobre otro de $325\mu\text{m}$. Se lavó el material con agua corriente por 15 minutos y se recogió el contenido del tamiz de $325\mu\text{m}$ en un tubo de centrifugación de 50 ml. Se le adicionó agua para llenar el tubo hasta la mitad y se centrifugó por cuatro minutos a 1.800 rpm. Se decantó el agua donde quedó suspendido el material orgánico de la muestra.

Al remanente en el tubo se le aplicó una solución de azúcar (500g de azúcar en un litro de agua), se disolvió y se centrifugó por dos minutos a 1.800 rpm. El proceso de centrifugación hace que las esporas de los hongos formadores de micorriza (HMA) se suspendan en la superficie de la solución de azúcar. Se recogió todo el líquido menos el sedimento del suelo en el tamiz de $325\mu\text{m}$ y se lavaron las esporas con abundante

agua corriente. Luego se colocaron en cajas de Petri con poca agua, donde se realizó el conteo (esporas HMA/50 g.s.s). Se efectuaron tres repeticiones por muestra de suelo.

El carbono de la biomasa microbiana se estimó por el método de fumigación-extracción, modificado por Vance *et al.* (1987). Para fumigar las muestras se colocaron 10 g de cada una de ellas, en un desecador que contenía un beaker con 25 ml de cloroformo, libre de etanol. Las muestras de suelo, por triplicado, se dejaron en el desecador por espacio de tres días en oscuridad y a temperatura ambiente. Luego se procedió a la extracción del carbono microbiano; para ello se adicionaron a cada repetición 50 ml de solución 0.5 M de K_2SO_4 , se agitaron por 30 minutos, se filtraron y se analizó el carbono orgánico extraído por el método de Walkley y Black y cuantificado por espectrofotometría automatizada (CIAT, 1993).

Al suelo testigo, no fumigado, se trató con igual procedimiento; en el momento en que comenzó la fumigación, se le adicionaron a las muestras 50 ml de solución 0.5 M de K_2SO_4 se agitaron por 30 minutos, se filtraron y se analizó carbono orgánico.

El cálculo de la biomasa microbiana se hizo por la diferencia entre el C medido en el suelo fumigado y no fumigado, dividiéndose por un factor k de corrección (0.33), que expresa el porcentaje de la biomasa microbiana extraído por este método.

Para analizar la información de las propiedades microbiológicas evaluadas se utilizó el paquete estadístico SAS, sometiendo los resultados a análisis de varianza, adoptando el modelo estadístico completamente al azar, realizando prueba de Duncan en aquellos casos en que se detectaron diferencias significativas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Propiedades físico-químicas de los suelos

Los suelos se caracterizaron por poseer texturas que variaron entre franco-arcillosas y arcillosas, con densidades aparentes de 1.8 g/cm^3 y reales de 2.53 BP, 2.87 BS y 2.53 SE. La porosidad total fue mayor en BS (34.8%) y más baja en BP (28.9%) y en SE (27.3) (Tabla 1)

Tabla 1. Caracterización físico-química de los suelos estudiados en el Ecoparque Cerro de la Bandera.

ZONA	Textura	Da (g/cm ³)	Dr (g/cm ³)	Porosidad total %	pH	% M.O	% C	% N	P (total)	P (ppm)
BP	Far	1.82	2.53	28.9	5.25	5.00	2.8	0.24	518	39
BS	Ar	1.87	2.87	34.9	4.45	4.62	2.6	0.23	127	6.5
SE	Far	1.84	2.53	27.3	4.6	1.95	1.1	0.1	114	4.8

Las condiciones físicas de estos suelos hace que se esperen problemas de aireación y circulación de agua facilitando encharcamientos en época de lluvia, situación grave si se tiene en cuenta el relieve pendiente del área y la falta de cubierta vegetal, especialmente en SE, lo que incrementa el grado de susceptibilidad a la erosión.

Los suelos estudiados tuvieron pH ácido. Los contenidos de C en BP y BS se reflejaron en porcentajes altos de materia orgánica (5.0 y 4.6 respectivamente), mientras que en SE fueron bajos (1.95). Los porcentajes de nitrógeno variaron entre muy bajo 0.1% en SE, a medianamente altos, 0.24% en BP y 0.23% en BS.

El fósforo total presentó valores altos (518, 127 y 114 ppm respectivamente), mientras que el fósforo disponible varió de muy bajo a alto (en BS 6.5 ppm, SE: 4.8 ppm) casi ocho veces más bajo que en BP (39 ppm).

En general BP presentó buenos contenidos de C, N y P; en BS existió deficiencia de P asimilable y en SE los contenidos de dichos elementos fueron escasos.

En BP y BS la presencia de vegetación, con mayor o menor diversidad y las condiciones ambientales, ha favorecido la acumulación de materia orgánica, situación distinta de la presentada en SE, área en la cual la actividad minera, devastó la vegetación y redujo drásticamente el ciclaje de la materia orgánica. Se corrabora que con ello se afecta negativamente, además del ciclo del C, el del N y P, fundamentales para la vida y las propiedades físico-químicas de estos suelos.

Propiedades microbiológicas de los suelos

Se presentaron diferencias altamente significativas en las poblaciones de fijadores de nitrógeno, mineralización de nitrógeno, esporas de HMA y biomasa microbiana (Tabla 2).

Tabla 2: Análisis de varianza para la variables microbiológicas estudiadas en suelos del Ecoparque Cerro de la Bandera

Parámetros microbiológicos	Fuentes de variación	Gli	Suma de cuadrados	Cuadrados medios		P>F
				Fc	P>F	
Bacterias totales/g.s.s 10^4	Suelo	2	837.44	418.72	0.99	0.4038
	Fecha de muestreo	1	24864.5	24864.5	59.04	0.0001**
	Error	10				
Fijadores simbióticos de N ₂ NMP rizobios/g.s.s	Suelo	2	13.32	6.66	126.38	0.0001**
	Fecha de muestreo	1	26.16	26.16	496.23	0.0001**
	Error	10				
Fijadores asimbióticos de N ₂ /g.s.s UFN	Suelo	2	14677.77	7338.9	248.6	0.0001**
	Fecha de muestreo	1	3200	3200	108.4	0.0001**
	Error	10				
Mineralización de nitrógeno $\mu\text{g N-NH}_4$	Suelo	2	156.41	78.2	48.71	0.0001**
	Fecha de muestreo	1	0.78	0.78	0.5	0.5
	Error	10				
Nº de esporas de HMA/50g.s.s	Suelo	2	56.59	2829	11.85	0.0023**
	Fecha de muestreo	1	3901.38	3901.38	16.34	0.0024**
	Error	10				
Biomasa microbiana $\mu\text{g C-microb./g.s.s}$	Suelo	2	10383.61	5191.8	17.25	0.0006**
	Fecha de muestreo	1	1.77	1.77	0.01	0.94
	Error	10				

Bacterias totales

El análisis de varianza para esta variable no mostró diferencias significativas entre las poblaciones bacterianas totales de los suelos de las zonas estudiadas, pero sí entre las fechas de muestreo.

Las poblaciones bacterianas en SE no difirieron significativamente de BP y BS a pesar de las características químicas limitantes del primero. Las bacterias conforman el grupo de organismos más numeroso y con mayor diversidad fisiológica, lo que propicia su adaptabilidad a diversas condiciones ambientales

estresantes (Harris, 1992 y Siquiera *et al.*, 1994) como las presentadas en los suelos del Ecoparque. En dichas áreas, diversos eventos posibilitan la aparición de organismos pioneros, que encuentran un hábitat adecuado para su proliferación, ocupan nichos disponibles, sin competidores y pasan a dirigir eventos posteriores en la sucesión ecológica.

Fijadores simbióticos de nitrógeno

El análisis de varianza para esta variable mostró diferencias altamente significativas entre los suelos de las tres zonas y fechas de muestreo (Tabla 2). En enero

de 1999 se apreció aumento significativo en la población rizobiana, situación asociada con el incremento

de humedad de los suelos (Figura 1).

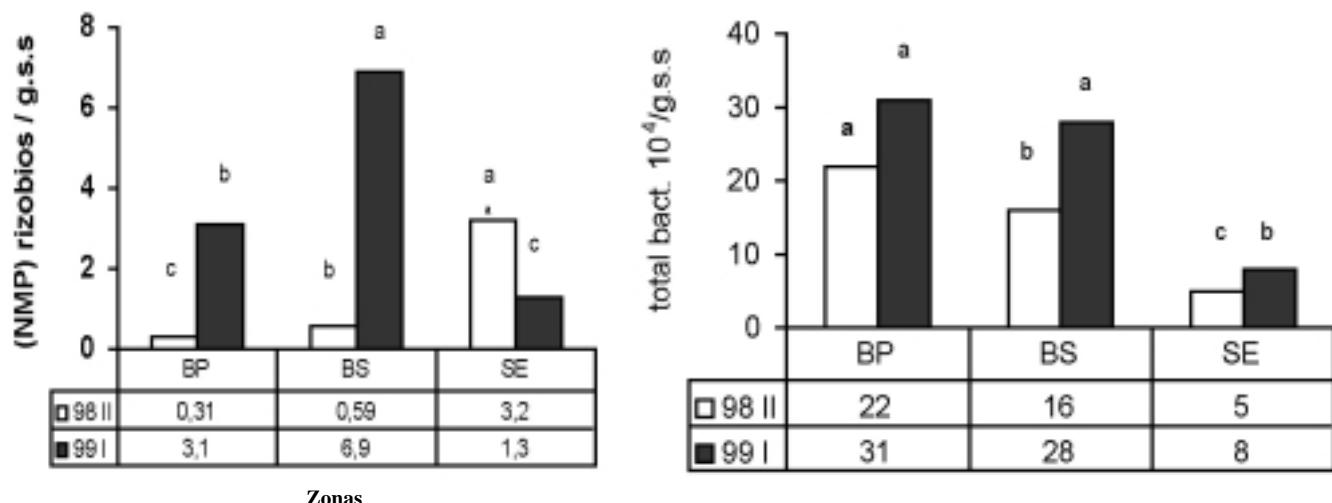


Figura 1: Conteo de bacterias fijadoras de N₂ en condiciones simbióticas y asimbióticas en suelos del Ecoparque Cerro de la Bandera con diferentes grados de intervención.

Según Neves y Rumjaneck, 1994, los rizobios viven como saprofitos en el suelo donde compiten con bacterias quimioheterótrofas. Su supervivencia parece asociada a la condición de poder utilizar compuestos orgánicos presentes en muy baja concentración (Anolles, 1991 citado por Aparicio y Arrese, 1996). Lo anterior pone de manifiesto su capacidad para adaptarse a condiciones limitantes como SE en el Ecoparque.

La prueba en plantas de siratro, *M. atropurpureum*, reflejó la capacidad de los rizobios nativos del Ecoparque para promover nodulación, evidenciando mayor capacidad de fijación por parte de las cepas encontradas en SE con respecto a las de BP y BS, lo cual se manifestó en mayor crecimiento, vigor y coloración verde de las plantas de siratro. Los resultados obtenidos en esta prueba ponen de presente la importancia ecológica de la utilización de leguminosas fijadoras de nitrógeno en la recuperación de suelos degradados, como plantas pioneras.

Fijadores asimbióticos de nitrógeno

La ANDEVA para esta variable (Tabla 2) mostró diferencias altamente significativas entre los suelos de las zonas estudiadas y entre las fechas de muestreo (Figura 1).

Las poblaciones encontradas de este grupo de microorganismos fueron altas en BP y BS, si se tiene en cuenta que generalmente para *Azotobacter* y *Beijerinckia* los registros no superan las 10x10⁴ células/g.s.s. (Sagardoy, 1980; Acea y Carballas, 1986).

Las bacterias fijadoras de nitrógeno necesitan considerables aportes energéticos en forma de carbono combinado; por lo anterior es fácil inferir que cualquier tipo de perturbación en el suelo, especialmente la originada por la pérdida de su vegetación, encargada de realizar dichos aportes, repercutirá negativamente en sus poblaciones, tal como está sucediendo en SE, que presenta los menores valores de las tres zonas estudiadas.

Algunos géneros bacterianos fijadores de nitrógeno se asocian estrechamente con gramíneas tropicales. La asociación favorece a los dos organismos ya que la planta estimula el crecimiento y desarrollo del microorganismo mediante la secreción de sustancias nutritivas en sus sistemas radicales, mientras que las bacterias mediante fijación ceden a la planta el nitrógeno que esta necesita para los procesos metabólicos (Dobereiner, 1982).

En los suelos erosionados del Ecoparque Cerro de la Bandera se observó que gramíneas de los géneros *Panicum*, *Paspalum* y *Andropogon* se han logrado adaptar a las precarias condiciones de fertilidad y es muy probable que sus secreciones radicales estén cumpliendo las necesidades nutricionales y energéticas de las poblaciones diazótrofas de vida libre.

Day *et al.*, 1980, confirmaron altas poblaciones anuales de fijadores de N_2 de vida libre en suelos con escaso contenido de materia orgánica, indicando la posibilidad de que la fijación no simbiótica se realice principalmente en la rizosfera de las especies que crecen en forma espontánea en dichos ambientes.

Mineralización del nitrógeno

El análisis de varianza mostró diferencias altamente significativas entre los suelos de las zonas estudiadas, mas no entre las fechas de muestreo (Tabla 2).

Los menores contenidos de materia orgánica en SE (1.95%), en comparación con BP (5.0%), permiten inferir que su detrimento fue el factor que más influyó negativamente en la amonificación en esta zona (Figura 2).

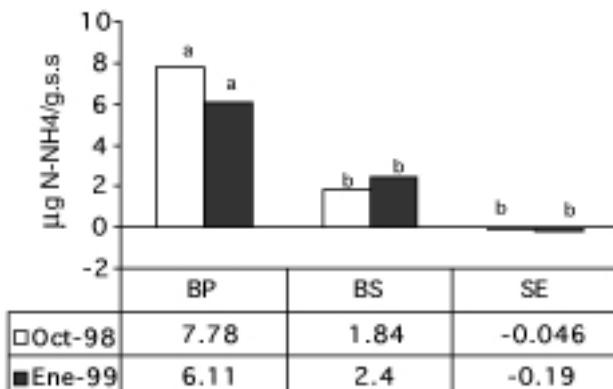


Figura 2: Mineralización de nitrógeno en etapa de amonificación(μg $NNH_4/g.s.s$) en suelos del Ecoparque con diferentes grados de intervención.

Asociado con la pérdida de la materia orgánica, hay que considerar la reducción en la diversidad de la biota del suelo (Powlson *et al.*, 1987), ya que el nitrógeno es uno de los elementos más influidos por la actividad microbiana, puesto que desde su entrada al sistema suelo es sometido a un sinnúmero de transformaciones que globalmente se conoce como ciclo del nitrógeno. Cada una de estas etapas es mediada por grupos de microorganismos, que contribuyen al equilibrio y la sostenibilidad del elemento en los ecosistemas. De allí que acciones que propicien alteraciones que vayan en detrimento de la materia orgánica y de la cantidad y diversidad de dichos microorganismos pueden originar el rompimiento del ciclo en cualquiera de sus etapas (Orozco, 1999).

Otro factor inherente a los procesos de deforestación es el aumento de la temperatura en el suelo, ya que ésta afecta las tasas de mineralización, debido a que los diferentes pasos en la transformación

de compuestos orgánicos de nitrógeno orgánico a amoniacal son catalizados por enzimas sensibles a la temperatura (Burbano, 1989).

El estudio de las formas de nitrógeno y la amonificación permiten inferir que dentro de la dinámica del nitrógeno, las ganancias del elemento en BP y BS se garantizan principalmente vía amonificación y nitrificación mientras que en SE, aparentemente, dependen del proceso de fijación biológica de N_2 tornándose fundamental y en alternativa única o casi única para suplir este desbalance y permitir el establecimiento de las plantas pioneras.

Esporas de hongos formadores de micorriza arbuscular (HMA)

El análisis de varianza para esta variable (Tabla 2) presentó diferencias altamente significativas entre los suelos de las tres zonas y fechas de muestreo (Figura 3).

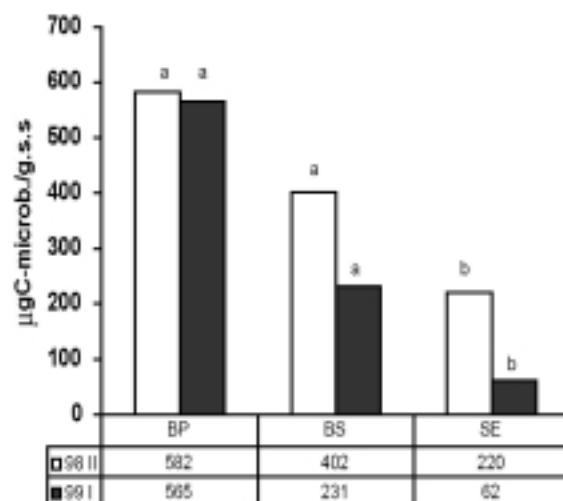
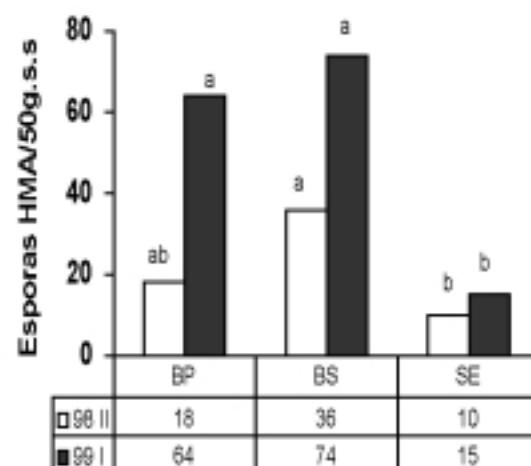


Figura 3: Número de esporas de hongos formadores de micorriza arbuscular (Esporas de HMA/50 gss) y biomasa microbiana (μg C/gss) en los suelos del Ecoparque con distinto grado de intervención

Siquiera *et al.*, 1994, afirman que de todos los factores ambientales, la destrucción de la vegetación en los suelos es la causante de las mayores pérdidas en la cantidad y diversidad de hongos micorrílicos, situación que es de esperarse dada su estrecha asociación con la comunidad vegetal. El bajo número de esporas en SE encuentra justificación en el argumento anterior.

A pesar de ello es posible que haya simbiosis muy efectiva entre los HMA y la comunidad vegetal de dicha zona (SE). Aunque en el presente estudio no se incluyó la estimación del porcentaje de colonización por HMA, un indicador válido y que puede respaldar dicha posibilidad es el proceso de fijación de N₂ en nódulos de *Dioclea sericea*, leguminosa muy extendida en estos suelos erosionados. Estos nódulos fueron recolectados por los autores y mostraron apreciables contenidos de leghemoglobina, lo que indica la efectividad en el proceso de fijación de N₂. Se conoce que la fijación de N₂ exige elevadas cantidades de P (Sánchez, 1999), deficiente en SE (4.8 ppm) (Tabla 1). La efectividad observada en dicha planta indica que se han cumplido dichos requerimientos. Esto permite suponer que en las MA recae gran parte del trabajo de búsqueda y asimilación de este elemento para el normal desarrollo del proceso de fijación. En tinción de raíces de esta leguminosa en forma exploratoria, se apreció alta colonización por HMA.

En BP y BS, además de la presencia de cobertura vegetal y lo que ello implica en la actividad de la MA, los mayores contenidos de materia orgánica pudieron haber favorecido el número de esporas de HMA, ya que ella estimula la formación de estructuras micorrílicas (Sánchez de P, 1996,1999).

Biomasa microbiana

El análisis de varianza mostró diferencias altamente significativas entre los suelos estudiados; sin embargo no las hubo entre las fechas de muestreo (Tabla 2).

Los valores obtenidos dan clara idea del impacto negativo que la deforestación causa sobre la biomasa microbiana del suelo erosionado SE, situación que es de esperarse dada la estrecha relación que la microbiota sostiene con la comunidad vegetal, pues ésta regula sus fuentes de nutrientes y contribuye cualitativa y cuantitativamente con la acumulación de materia orgánica.

La biomasa microbiana está estrechamente correlacionada con la dinámica de la materia orgánica del suelo y factores que alteren el contenido de ésta, normalmente provocan cambios en ella; esto se hace evidente cuando residuos de plantas se adicionan al

suelo u ocurre un decrecimiento en los contenidos de materia orgánica (Wardle, 1994).

En SE la deforestación causada por la explotación minera originó un marcado detrimento en el contenido de materia orgánica (1.95%) y por ende en el de carbono y nitrógeno, situación que pudo haber originado la sensible disminución en su biomasa (21.9 y 62.5 µg C/g.s.s) en la primera y segunda fechas de muestreo, respectivamente.

También hay que considerar que la deforestación crea condiciones adversas de tipo físico en los suelos a los cuales los microorganismos son sensibles. Se pueden citar, aumentos en la temperatura (Joergensen *et al.*, 1991; Cattelan y Vidor 1994), pérdida de microestructura que favorece la oxigenación y la retención de agua (Drury *et al.*, 1991) y por tanto, destrucción de microhabitats más favorables para el desarrollo de los microorganismos.

De los resultados se puede afirmar que los suelos del Ecoparque conservan una reserva de vida representada, además del componente vegetal, por la microbiota, capaz de sobrevivir aun en circunstancias adversas. Estos microorganismos del suelo constituyen elemento clave en los procesos de conservación en BP y BS, y de regeneración de las zonas degradadas SE, resaltando la acción de las bacterias fijadoras de N₂ y el potencial manifestado por los hongos formadores de micorriza (HMA), microorganismos que influyen en la capacidad de resiliencia de estos suelos.

BIBLIOGRAFÍA

- Acea, M.J. y Carballas, T. 1986. Estudio de la población microbiana de diversos tipos de suelos de zona húmeda (N.O. de España). *An. Edafol. Agrobiol.* Vol. 45: p 381-398.
- Aguilar, J.E.; Tofiño, R. y Sánchez de P. M. 1996. Aislamiento, purificación e inoculación de dos cepas de *Azotobacter* sp en semillas de tomate línea promisoria, UN Palmira. Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira. *Boletín técnico*. Vol. 7 p 45-60.
- Anderson, J.M. and Ingram, J. 1993. Tropical soil biology and fertility hand-book of methods. CAB International, Wallingford, UK. p 70-79.
- Aparicio, P.M. y Arrese, C. 1996. Fijación de nitrógeno. En: Azcon B. G. (ed) Fisiología y bioquímica vegetal. Madrid: Interamericana McGraw-Hill: pp 581.
- Burbano, O.H. 1989. *El suelo: una visión sobre sus componentes biorgánicos*. Universidad de Nariño, Pasto. pp 447.
- Cattelan, A.J.y Vidor, C. 1994 Flutuações na biomassa, actividade e populacao microbiana do solo en funcao de variacoes ambientais. *Rev. Bras. C. Solo*, V. 14, p. 133-142.
- Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), 1988. Simbiosis Leguminosa-Rizobio: Manual de métodos de evaluación, selección y manejo agronómico. Cali, pp 280.
- _____, 1993. Manual de Análisis de Suelos y Tejidos. Cali, pp 103.

- Correa, J.C y Martínez, J.F. 1996. Inventario florístico del cerro de la Bandera, municipio de Cali, departamento del Valle del Cauca. Trabajo de grado Ing Agr Universidad Nacional de Colombia. Palmira, pp 139.
- Day, J.M.; Harris, D.; Dart, P. J and Van Berkum, P. 1975. The Broadbalk experiment: An investigation of nitrogen gains from non-symbiotic nitrogen fixation by free-living micro-organisms. W.D.P. Stewart (Ed). p 71-84.
- Dobereiner, J. 1982. Biological Nitrogen fixation for tropical agriculture En: Grahan, P.H; Harris, S.C. CIAT. p 38
- Drury, C.F.; Stone, J.A. and Findlay, W.I. 1991 Microbial biomass and soil structure associated with corn, grasses and legumes. *Soil Sci. Soc. Amer. J.*, V. 55, p. 805-811.
- Franco, A.A.; Campello, E.F.; Díaz, L.E. And Faría, S.M. 1994. Revegetation of acidic residues from bauxite mining using nodulated and mycorrhizal legume tres. Nitrogen Fixing Trees for Acid Soils, p 313-320.
- Harris, P.J. 1992. La población microbiana del suelo. En: Wild, A., G. (Ed). Condiciones del suelo y desarrollo de las plantas según Russell. Madrid: Mundi-Prensa. p 471-494.
- _____. 1992. Transformaciones microbianas del nitrógeno. En: Wild, A., G. (Ed). Condiciones del suelo y desarrollo de las plantas según Russell. Madrid: Mundi-Prensa. p 641-686.
- _____. 1992. La materia orgánica del suelo: evolución. En: Wild, A., G. (Ed). Condiciones del suelo y desarrollo de las plantas según Russell. Madrid: Mundi-Prensa. p 595-640
- Joergensen, P.G.; Brookes, P.C. and Jenkinson, D.S. 1990. Survival of the soil microbial biomass at elevated temperatures. *Soil Biol. Biochem.*, V. 22, p. 1129-1136.
- Llanos, C. y Sánchez M. 1982. Experimentos con microorganismos. Universidad Nacional de Colombia, sede Palmira.
- Neves, M.C. y Rumjaneck, N.G. 1992. Bioquímica e fisiología da fixação de nitrogênio. En: Cardoso, J.B.N; Tsay, S.M; y Neves, M.C. G. (Ed). Microbiología do solo. Sociedad Brasileira de Ciencia do Solo. Campinas. p 141-155.
- Orozco, P.H.F. 1999. La Biología del Nitrógeno. Universidad Nacional de Colombia. pp 231.
- Pla, S.I. 1994. La materia orgánica y la degradación y erosión de suelos en el trópico. En: Soc. Col. Ciencia Suelo. El componente biorgánico del suelo. p 198.
- Powlson, D.S.; Brookes, P.C. and Jenkinson, D.S. 1987. Measurement of soil microbial biomass provides an early indication of changes in soil organic matter due to straw incorporation. *Soil Biol. Biochem.*, V. 22, p 1121-1127
- Primavesi, A. 1982. Manejo ecológico del suelo: La agricultura en regiones tropicales. Buenos Aires: El Ateneo. 499 p.
- Sagardoy, M.A. 1980. Number and distribution of *Rhizobium meliloti* and other microbial populations in soil. *An. Edaf. Agrobiol.* V 39. p 889-895.
- Sánchez, M. 1996. Las endomicorras como una alternativa para mejorar la absorción de fósforo. Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira. *Boletín Técnico*. Vol. 7. p 18-24.
- _____. 1999. Endomicorras en agroecosistemas colombianos. Palmira: Universidad Nacional de Colombia, 227 p.
- Sieverding, E. 1983. Manual de métodos para la investigación de la micorriza vesículo-arbuscular en el laboratorio. Cali: CIAT, 100 p.
- Siqueira, O.J.; Moreira, F.; Grisi, B.; Hungria, M. y Araújo, R. 1994 Microorganismos e processos biológicos do solo: Perspectiva ambiental. Brasilia. EMBRAPA-SPI. pp 142.
- Vance, E.D.; Brookes, P.C. and Jenkinson, D.S. 1987. An extraction method for measuring soil microbial biomass C. *Soil. Biol. Biochem.* Vol. 19, No 6, p. 703-707.
- Wardle, D.A. 1994. Métodos para quantificar a biomassa microbiana do solo: Manual de métodos empregados em estudos de microbiologia agrícola. Brasilia: EMBRAPA-SPI. 480 p.