

Efecto del descanso agrícola sobre la microbiota del suelo (Patarani - Altiplano Central boliviano)

Fallow effect on soil microbial population (Patarani – Bolivian central Altiplano)

Ruth Sivila de Cary¹ & Wilma Angulo²

¹Instituto de Ecología, Casilla 10077 - Correo Central, La Paz, Bolivia.

email: rsivila@caryglobal.com, Autor de correspondencia

²email: wilmangulo@entelnet.bo

Resumen

En la comunidad de Patarani del Altiplano Central boliviano (3.400-4.000 m) donde se mantiene un descanso largo después de tres años de cultivo, se estudió la población microbiana del suelo en descanso durante tres años. En este trabajo se analiza el suelo en parcelas con diferentes tiempos de descanso: etapa inicial (1-4 años), intermedia (5-9 años) y etapa tardía del descanso (10-20 años). Los análisis microbianos realizados fueron: la biomasa microbiana (N) por el método de fumigación-extracción; el conteo de viables en medios sólidos de bacterias, hongos, actinomicetos, acidófilos y esporulados así como en medios líquidos por el método del número más probable (NMP), la población total microbiana, amilolíticos y proteolíticos. También formó parte del análisis el número de esporas de micorrizas arbusculares, el análisis químico del suelo y la actividad microbiana expresada como actividad amilolítica y proteolítica determinada por el índice de dilución media. Los resultados muestran en la mayoría de la microbiota una clara tendencia al incremento con los años del descanso en el sentido etapa inicial < intermedia < final. Por el contrario, los organismos acidófilos y amilolíticos disminuyen en el sentido etapa inicial > intermedia > final. El análisis químico del suelo muestra que la mayoría de los valores se incrementan al final del descanso con valores altos para el C%, N total y el CIC (intercambio catiónico). Entre los microorganismos el mejor parámetro que se relaciona con la duración del descanso del suelo es el número de esporas de micorrizas arbusculares ($R_s = 0.83$).

Palabras clave: Microbiota del suelo, descanso largo, Altiplano boliviano, micorrizas.

Abstract

In the central high plateau of Bolivia (called central Altiplano) (3,800-4,000 m asl.) and the Patarani's community where a long fallow is applied after crop during three years, we studied the microbial population of fallow soils during three years. In this work we analysed soils in plots with different fallow stages: initial (1-4 years), intermediate (5-9 years) and late (10-20 years). The microbial analysis were the microbial biomass N (fumigation-extraction method) and counts on solid culture media of living forms of bacteria, fungi, actinomycetes, acidophiles, and sporulates, and in liquid media by the Most Probable Number (NMP) method counts of total microbial population, amylolytics, and proteolytics. The analyses were also performed for arbuscular mycorrhiza spores, chemical variables of the soil, and microbial activity expressed as amylolytic and proteolytic activities determined by the method of the index of mean dilution. The results on the microbiota show clear tendency to increase with fallow years, in the following direction: early stage < intermediate stage < final stage. Numbers of acidophiles and amylolytics decreased in

the opposite sense: early stage > intermediate stage > final stage. Soil analysis show that almost all the values increase in the final stage of the fallow, with high values found for C%, N total and CIC (exchangeable cations). The total of arbuscular mycorrhiza spores is the parameter that best reflects the fallow duration ($R_s = 0.83$).

Keywords: Soil microorganisms, long fallow, Bolivian Altiplano, mycorrhizae.

Introducción

La importancia de la composición e interacción de las poblaciones microbianas en el suelo es indiscutible. En gran medida, la fertilidad del suelo está controlada por las actividades biogeoquímicas de la microbiota que actúa como abastecedor potencial de nutrientes para las plantas. Las investigaciones pioneras sobre la microbiota del suelo en parcelas en descanso del Altiplano boliviano se restringieron a pocos grupos microbianos cuya presencia está influenciada por el efecto rizosférico y el manejo del cultivo anterior (Sivila & Hervé 1994).

Uno de los principales problemas de la actividad agrícola es la disminución de la fertilidad de los suelos cultivados. En la región altoandina un gran número de comunidades agrícolas que afrontan este problema practica un descanso largo del suelo. Actualmente se estudia el descanso agrícola del suelo, tratando de evidenciar factores físicos, químicos o biológicos que permitan explicar los mecanismos de recuperación de la fertilidad.

Las investigaciones sobre sistemas agrícolas con descanso largo en los Andes muestran que el tiempo se va acortando debido a diferentes causas y que el uso de fertilizantes químicos se va incrementando. Estos factores repercuten negativamente en la disposición de nutrientes para la vegetación y aceleran el deterioro de los ecosistemas como lo indican Sarmiento et al. (1993) y Kraft (1994).

La comunidad altiplánica del presente estudio, Patarani, es un ejemplo del manejo tradicional de la agricultura campesina basado en la ausencia de fertilizantes químicos y un descanso largo y pastoreado por más de 10 años. Esta situación permitió monitorear *in situ*

por tres años consecutivos el suelo de las parcelas en descanso.

Se analizó en el presente estudio la población microbiana edáfica a partir de la hipótesis de que existe en el suelo un enriquecimiento paulatino de algunos grupos de microorganismos que se relacionan con el descanso y considerando que la microbiota se desempeña como un reservorio de nutrientes encargado de regenerar la fertilidad del suelo (Marumoto et al. 1982, Insam & Domsch 1988, Reyes & Vargas 1999). Por todo lo anterior, la presente investigación tuvo por objetivo evaluar en forma cualitativa y cuantitativa la dinámica de algunos componentes de la microbiota del suelo durante tres años consecutivos en parcelas agrícolas en descanso de la región de Patarani.

Área de estudio

El Altiplano boliviano, situado en medio de las cordilleras Oriental y Occidental, es una extensa planicie descrita como una importante región ecológica. Se distingue dentro de esta región ecológica al Altiplano semihúmedo, semiárido y árido (Montes de Oca 1997). La zona de estudio pertenece al Altiplano semiárido (Altiplano Central), el ámbito topográfico corresponde a serranías y mesetas de material coluvial con intrusiones volcánicas. El clima es oligotérmico con temperaturas medias anuales entre de 8-11°C y grandes amplitudes térmicas entre el día y la noche, la precipitación media anual es de 400 mm (Camacho 2001).

La región de estudio se caracteriza por presentar una estación relativamente seca entre abril y noviembre y una estación húmeda de diciembre a marzo. La vegetación típica se caracteriza por los arbustos resinosos de tola

(*Baccharis incarum*) y *Parastrephia lepidophylla*, un pequeño arbusto espinoso (*Tetraglochin cristatum*) y gramíneas en macollo (*Stipa ichu* y *Festuca dolichophylla*). De acuerdo a Salm (1983), los suelos del Altiplano son en general muy poco desarrollados y pobres de horizontes orgánicos con textura arena franca y franco arenosa; el pH del suelo de neutro a moderadamente ácido, el porcentaje de carbono orgánico es bajo y no excede al 2%.

Las parcelas estudiadas se encuentran en la comunidad de Patarani, provincia Aroma del departamento de La Paz en las coordenadas 17° 6'S y 68° 05'W, a una altitud de 3.800 m. Las actividades productivas de la comunidad se basan en la agricultura de secano y en terrenos en descanso pastoreados por el ganado, principalmente vacuno y ovino. La agricultura en pequeña escala sigue un ciclo de rotación que empieza con papa (*Solanum tuberosum* ssp. *andigena*), luego con cebada (*Hordeum vulgare*) o quinua y generalmente termina con quinua (*Chenopodium quinoa*) o cebada. El tercer año las parcelas entran en descanso durante un periodo variable entre 5 y 20 años.

Métodos

Durante los tres años del estudio se analizó el suelo de las parcelas que se encontraban en diferentes años de descanso agrícola. La información sobre edad del descanso del suelo proviene de entrevistas con los campesinos propietarios de sus parcelas. Se catalogaron las parcelas como:

- Parcelas en etapa temprana de uno a cuatro años de descanso, caracterizadas por suelos mayormente desnudos y escasas especies vegetales, principalmente el pasto bandera (*Chondrosium simplex*), pasto reloj (*Erodium cicutarium*) y otras hierbas en su mayoría también anuales.
- Parcelas con cinco a nueve años de descanso - catalogadas como etapa intermedia - con baja cobertura vegetal,

mayormente de *Astragalus micranthellus* y *Erigeron lanceolatus*.

- Parcelas con 10 a 20 años que corresponden a la etapa tardía con abundante cobertura vegetal, principalmente arbustos de *Baccharis incarum*, *Parastrephia lepidophylla* y pastos, como *Stipa ichu*.

Todas las parcelas estudiadas tienen una superficie aproximada de 200 m² y la mayoría son colindantes o situadas a muy corta distancia una de la otra. Las parcelas autorizadas por la comunidad para el seguimiento y muestreo del suelo fueron siete (1, 2, 5, 7, 10, 15 y 20 años de descanso). Para el estudio de la microbiota del suelo se colectaron de cada parcela 12 submuestras de suelo en forma aleatoria para conformar una muestra compuesta en época seca y húmeda. Cada muestra fue colectada a una profundidad de 0-20 cm. A partir de la muestra compuesta, se realizaron todos los análisis y una porción fue destinada al laboratorio de Calidad Ambiental del Instituto de Ecología para el análisis químico respectivo.

Los análisis microbiológicos se realizaron en suelo homogenizado con tamiz de 2 mm. Una parte de la muestra tamizada fue separada para la determinación de humedad. En la valoración del nitrógeno de la biomasa microbiana (N-BMS) realizada por fumigación - extracción (Brookes et al. 1985), las muestras de suelo fueron almacenadas a 4°C por un tiempo no mayor a una semana. Para la fumigación, tres submuestras de 50 g de suelo fueron depositadas en un desecador de vidrio. Se aplicó vacío hasta observar claramente la evaporación del cloroformo y se dejó a temperatura ambiente durante 20 horas. El suelo fumigado fue transferido cuantitativamente a recipientes de 250 ml. Paralelamente, se prepararon otros tres recipientes con 50 g de suelo sin fumigar; a cada recipiente se agregó 150 ml 1N de K₂SO₄ y se agitaron durante 30 minutos y se centrifugó 15 minutos a 4.000 rpm. En el sobrenadante filtrado se cuantificó el nitrógeno total por

digestión y destilación, utilizando el método de Kjeldahl.

La determinación del número de microorganismos, expresadas como UFC (unidades formadoras de colonias) y NMP (número más probable), fue efectuada en medios sólidos y líquidos, respectivamente. La evaluación de la población microbiana de bacterias (B), actinomicetos (A), hongos (H), bacterias acidófilas (Ac) y esporuladas (Es) fue determinada en medios sólidos selectivos (Acea & Carballas 1987, Sivila & Hervé 1994). Una dilución decimal preparada a partir de 10 g de suelo en agua destilada estéril sirvió para inocular un conjunto de tres placas para cada dilución. El recuento de las UFC para los diferentes grupos microbianos ocurrió después de 5-15 días de incubación a 28° C.

En la evaluación de proteolíticos (Pr), amilolíticos (Am), población total microbiana (PT) y en el seguimiento de la actividad microbiana se utilizó medios de cultivo líquidos, enriquecidos con el substrato a examinarse, gelatina para proteolíticos y almidón para amilolíticos. Para calcular el número más probable (NMP) se aplicaron las tablas estadísticas de McCrady en tres tubos por dilución, siguiendo la técnica de tubos múltiples. Luego se obtuvo el valor de microorganismos presentes en la muestra por gramo de suelo sembrado, al cual se refiere posteriormente como gramo de suelo seco. Para obtener la curva de actividad proteolítica y amilolítica, cuya mayor o menor pendiente representa la actividad de un grupo funcional, se siguió progresivamente el metabolismo del substrato durante el periodo de incubación (15 días) y se representó gráficamente los días de lectura frente al índice de la dilución media límite, siguiendo la línea metodológica de Guerrero et al. (1982) y Acea & Carballas (1985, 1987).

Las esporas de micorrizas arbusculares (MA) fueron valoradas en 25 g de suelo fresco. Se colocó la muestra de suelo en un litro de agua y se agitó la suspensión varias veces. Después de la última agitación, se dejó

sedimentar las partículas pesadas durante algunos segundos y se decantó sobre una serie de tamices de diferente tamaño de abertura. Este proceso se repitió tres veces. Las fracciones de los tamices se pasaron separadamente a frascos para su posterior valoración en la caja de doncaster (Sieverding 1989).

Para determinar la diferencia entre las etapas del descanso se aplicó una ANOVA de una vía y se utilizó el test Tukey a nivel del 5% para identificar cuáles grupos eran significativamente diferentes entre sí. Se realizaron correlaciones simples entre los años de descanso y las variables microbianas. Se utilizó el paquete "Statistica 5".

Resultados

Agrupación de parcelas

En la tabla 1 se presenta la edad de las parcelas desde el inicio del estudio (1999) y durante el monitoreo de 2000 a 2001. En la última columna de la tabla se muestra la agrupación realizada a las parcelas conformando etapas. La etapa inicial definida por una duración del descanso comprendida entre 1-4 años incluye a las parcelas de 1-2 años que fueron monitoreadas hasta el final del estudio. Esta etapa del descanso es generalmente respetada por los agricultores de la comunidad en el sentido de no cultivar antes de los cuatro años del descanso. Las parcelas de la etapa intermedia del descanso (de 5 a 9 años) suelen ser utilizadas para reinicio del ciclo del cultivo cuando por presiones de diferente índole los agricultores deciden acortar el tiempo del descanso. Las parcelas mayores a 10 años son clasificadas como de etapa tardía del descanso; actualmente en Patarani son escasas las parcelas de esta categoría. Se evidenció también que no es común el descanso mayor a 20 años.

Suelo

Los valores relativos a la textura del suelo en las parcelas elegidas sugieren que sus suelos son típicos del Altiplano. Las parcelas con

Tabla 1: Clasificación y edad de las parcelas en descanso a lo largo del monitoreo de tres años. Abreviaciones: n = No muestreada.

Código de la parcela	Edad al muestreo 1999	Edad al muestreo 2000	Edad al muestreo 2001	Clasificación en etapas de descanso
RD1	1 año	2 años	3 años	Inicial
RD2	2 años	3 años	4 años	Inicial
CD5	5 años	6 años	7 años	Intermedia
CD7	7 años	8 años	9 años	Intermedia
CD10	10 años	11 años	12 años	Tardía
RD 9	n	n	11 años	Tardía
RD15	n	16 años	n	Tardía
CD20	20 años	21 años	n	Tardía

diferentes edades no tuvieron diferentes clases de textura (Tabla 2). Se considera importante que entre las parcelas no haya diferencias significativas en el contenido de arcilla, considerando el efecto de la arcilla en la adhesión microbiana y el intercambio catiónico (Burns 1979).

En algunos de los parámetros químicos examinados existen diferencias entre las etapas del descanso (Tabla 3). La tendencia al aumento en la etapa tardía del descanso se evidencia en: N, C, Na, K, Ca, Mg y CIC con valores significativos para algunos cationes disponibles y el carbono. El pH y la conductibilidad eléctrica aumentan entre las etapas de descanso, pero solamente el pH de manera significativa. El valor del P es oscilante y presenta una disminución no significativa en la etapa tardía del descanso.

Análisis de la microbiota

En la tabla 4 se observan los resultados promedio de los datos de los tres años del análisis microbiano, expresados en número de microorganismos por gramo de suelo seco para las tres épocas del descanso. Puede observarse que las poblaciones de bacterias, actinomicetos,

proteolíticos y población total microbiana fueron levemente afectadas por el tiempo de descanso. Los valores promedio aumentan progresivamente en el sentido etapa inicial < etapa intermedia < etapa tardía, el tiempo de descanso sólo afecta significativamente a los proteolíticos (ANOVA $P < 0.05$).

Por el contrario, las poblaciones de acidófilos y microorganismos amilolíticos se encuentran disminuidas en el sentido: etapa tardía > etapa intermedia > etapa inicial. Los acidófilos experimentan una disminución significativa ($P < 0.058$) en la etapa tardía del descanso. La población de hongos es muy variable en las tres épocas, lo que se atribuye a las limitaciones de la técnica del recuento en placa para este grupo en particular. En los esporulados tampoco se observan tendencias claras.

En la tabla 5 se presentan los resultados de la biomasa microbiana (N-BMS), expresada como mg N Kg⁻¹ de suelo seco. Existe una diferencia significativa de incremento de la biomasa microbiana en la etapa tardía con respecto a la etapa intermedia del descanso ($P < 0.02$). De la misma manera, el recuento de esporas de micorrizas arbusculares por gramo de suelo seco (Tabla 5) demuestra un incremento más notable en la etapa tardía con valores muy

Tabla 2: Textura del suelo entre 0 y 20 cm de profundidad en parcelas en descanso Patarani - Altiplano Central, datos generados por el Laboratorio de Calidad Ambiental - Instituto de Ecología.

Edad de parcelas en descanso	Arena %	Limo %	Arcilla %	Clase textural
1 año	56.7	29.7	13.6	Franco arenoso
2 años	56.7	29.7	13.6	Franco arenoso
5 años	76.8	14.6	8.6	Franco arenoso
7 años	76.8	14.6	8.6	Franco arenoso
10 años	53.8	38.0	8.2	Franco arenoso
11 años	65.1	24.4	10.5	Franco arenoso
16 años	62.9	29.3	7.8	Arenoso franco
20 años	53.8	38.0	8.2	Franco arenoso

altos en las parcelas mayores a 10 años de descanso. El test de Tukey nos revela que existe diferencia significativa entre las tres épocas del descanso ($P < 0.00001$).

Con los resultados promedio de las variables microbianas que presentan diferencias significativas se graficó la tendencia sucesional de la biomasa microbiana, acidófilos proteolíticos y micorrizas arbusculares (Figura 1). Solo en el caso de las micorrizas arbusculares, el valor de R^2 (0.83) refleja una tendencia clara al aumento a lo largo del descanso.

Analizando las curvas de actividad microbiana, se observa que la actividad proteolítica (Figura 2) es más intensa en la etapa tardía del descanso agrícola que en la etapa inicial; en tanto que la actividad amilolítica (Figura 3) es mayor en la etapa intermedia e inicial y menor en la etapa final del descanso del suelo.

Discusión

Los suelos del Altiplano Central boliviano en general son suelos deteriorados y con escasa acumulación de humus que repercute en su

bajo contenido de nutrientes (Salm 1983). Adicionalmente, la agricultura está restringida a tres años de cultivos sucesivos, como es el caso en Patarani. La recuperación de la fertilidad es una de las razones porque las parcelas agrícolas sean sometidas a largos periodos de descanso. Analizando el suelo de las parcelas en rotación ya fue posible detectar una evidente disminución de la microbiota a partir del segundo cultivo de la rotación (Sivila 1994). Sivila & Hervé (2001) demostraron en la misma zona altiplánica que en los primeros años del descanso, el suelo agotado presentaba muy baja población microbiana.

Otros estudios en diferentes sistemas agrícolas no han detectado cambios significativos en los componentes químicos del suelo que expliquen la pérdida de la fertilidad y su recuperación progresiva durante el periodo de descanso (Llambi & Sarmiento 1998, Hervé 1994, Aranguren & Monasterio 1997), posiblemente debido a la heterogeneidad espacial de las parcelas comparadas.

Considerando que los microorganismos del suelo llegan a constituir un reservorio lábil de elementos nutritivos y representan un agente

Tabla 3: Valores promedio de los parámetros químicos en diferentes etapas sucesionales de descanso en las parcelas agrícolas de Patarani – Altiplano Central boliviano. Símbolos y abreviaciones: d = desviación estándar, *p < 0.10; letras diferentes (a, b) indican diferencias significativas entre etapas según test de Tuckey.

Etapa	pH Agua 1:2,5	Cond. Elect μS/cm	N <--- %-	C --->	P mg/kg	Na <---	K ---	Ca ---meq/	Mg 100 g---	Acidez. interc ---	CIC --->
Inicial	6.5 a δ 0.26	39.67 δ 11.5	0.058 δ 0.004	0.39 a δ 0.059	9.07 δ 1.44	0.398 a δ 0.096	0.488 a δ 0.115	7.76 a δ 4.83	1.444 ab δ 0.143	0.11 d 0.09	7.03 δ 2.08
Intermedia	6.8 a δ 0.2	44.25 δ 24.01	0.044 δ 0.005	0.30 a δ 0.065	11.55 δ 5.53	0.513 a δ 0.271	0.925 a δ 0.179	2.80 ab δ 0.95	1.102 a δ 0.318	0.16 δ 0.09	4.63 δ 1.28
Tardía	7.88 b δ 0.97	171.25 δ 143.7	0.163 δ 0.161	0.79 b δ 0.23	7.38 δ 1.42	1.375 b δ 0.804	1.16 b δ 0.459	11.49 b δ 8.18	2.172 b δ 0.838	0.11 δ 0.09	12.48 δ 7.74
ANOVA	ρ=0.021	ρ=0.1311	ρ=0.1081	ρ=0.0001	ρ=0.1531	ρ=0.011	ρ=0.008	ρ=0.051	ρ=0.013	ρ=0.743	ρ=0.131

Tabla 4: Población promedio de grupos microbianos en diferentes etapas sucesionales del descanso en parcelas agrícolas de Patarani – Altiplano central boliviano. Símbolos y abreviaciones: d = desviación estándar, *p < 0.10; letras diferentes (a, b) indican diferencias significativas entre etapas según test de Tuckey.

Etapa sucesional	Bacterias (B) *10 ⁶	Hongos (H) *10 ⁴	Actinomicetos (A) *10 ⁵	Esporulados (Es) *10 ⁴	Acidófilos (Ac) *10 ⁴	Pop.Total (PT) *10 ⁶	Amilolítico. (Am) *10 ⁵	Proteolítico. (Pr) *10 ⁵
	--- Número de viables por gramo de suelo seco ----- >							
Inicial	8.6 δ ± 3.53	21.11 δ ± 9.65	4.35 δ ± 4.04	192.6 δ ± 258.4	152.16 δ ± 106.48 a	20.44 δ ± 11.34	13.59 d ± 10.4	26.2 d ± 6.27 a
Intermedia	9.1 δ ± 4.96	26.78 δ ± 31.35	4.39 δ ± 2.39	73 δ ± 102.1	138.42 δ ± 80.71 a	20 δ ± 5.62	12.65 δ ± 17.35	28.03 d ± 16.0 a
Tardía	11.62 δ ± 5.72	8.11 δ ± 4.65	8.11 δ ± 4.56	79.5 δ ± 71.3	43.4 δ ± 22.39 b	30.33 δ ± 13.5	10.3 δ ± 9.64	54.1 d ± 28.39 b
ANOVA	ρ = 0.5512	ρ = 0.3928	ρ = 0.3325	ρ = 0.4315	ρ = 0.058	ρ = 0.2074	ρ = 0.9103	ρ = 0.0545

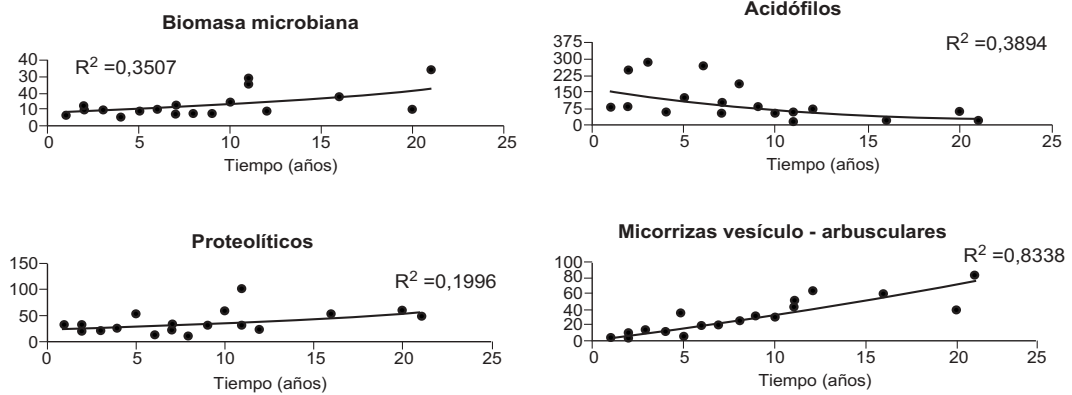


Fig. 1: Tendencias sucesionales de los microorganismos del suelo en parcelas en descanso (Patarani).

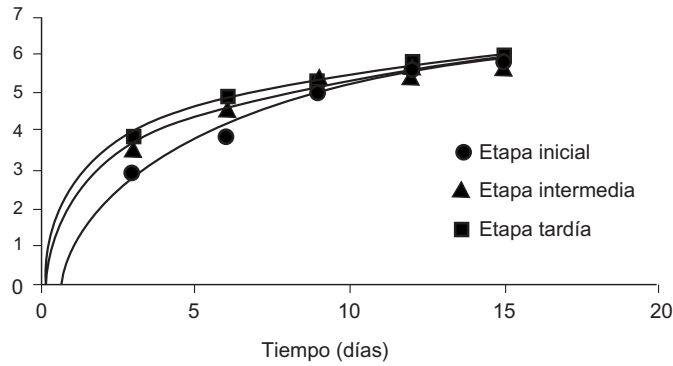


Fig 2: Comportamiento de la curva de actividad proteolítica en tres etapas del descanso (Patarani).

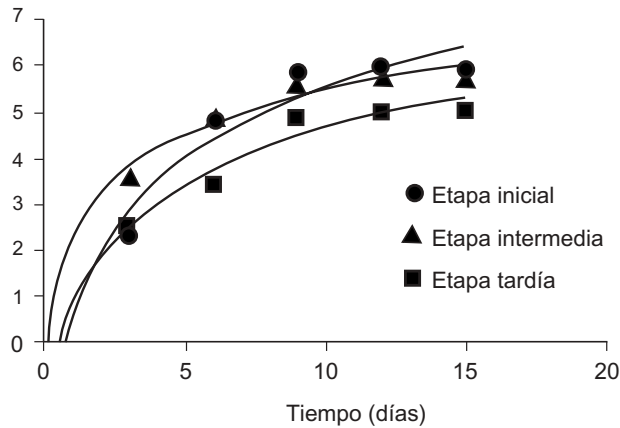


Fig 3: Curva de actividad amilolítica en tres etapas del descanso del suelo (Patarani)

Tabla 5: Valores de biomasa microbiana del suelo y esporas de micorrizas arbusculares en terrenos en descanso de Patarani. Símbolos y abreviaciones: δ = desviación estándar; ** $p < 0.05$; * $p < 0.001$; letras diferentes (a, b, c) indican diferencias significativas según Tuckey.**

Etapa sucesional del descanso	Biomasa microbiana Mg N / kg	Micorrizas arbusculares No esporas / g
Inicial	8.68 δ 2.81 a	6.97 $\delta \pm 4.35$ a
Intermedia	9.15 $\delta \pm 1.75$ a	19.96 $\delta \pm 9.34$ b
Tardía	17.9 $\delta \pm 8.26$ b	47.34 $\delta \pm 11.75$ c
ANOVA	$\rho = 0.016$ **	$\rho = 0.00001$ ***

decisivo de la fertilidad del suelo, en el presente estudio se examina, además de la parte química, a diferentes grupos de microorganismos. Se realizó un muestreo diacrónico, siguiendo la evolución de las siete parcelas durante tres años consecutivos y se analizó la microbiota y los elementos químicos dos veces por año (época seca y húmeda). Contrariamente a estudios arriba indicados, el grupo tardío se diferencia de los grupos tempranos y medios para la mayoría de los parámetros químicos del suelo (Tabla 5). De la misma manera, se presenta un incremento en algunos grupos de los microorganismos examinados.

Al considerar al grupo de microorganismos mayormente analizados en el suelo como indicadores de la microbiota edáfica (bacterias, hongos y actinomicetos), la tabla 4 indica que el número de propágulos viables por gramo de suelo seco se sitúa para bacterias alrededor de 10^6 , para hongos 10^4 y para actinomicetos 10^5 , asemejando los resultados obtenidos en otros estudios (Guerrero et al. 1982, Acea & Carballas 1985, Cattelan & Vidor 1990). Entre este grupo de microorganismos, no es significativo el incremento relativo en bacterias y actinomicetos observado al final del descanso.

Al analizar un espectro más amplio de microorganismos es posible encontrar entre ellos un grupo que indique una recuperación de la fertilidad por efecto del descanso. De los grupos microbianos examinados, los proteolíticos, la biomasa microbiana y las esporas de micorrizas arbusculares (Tablas 4 y 5) muestran una tendencia significativa al aumento progresivo de su población entre las tres etapas del descanso. Estudios sobre biomasa microbiana y micorrizas arbusculares muestran que son los mejor relacionados con el descanso del suelo (Montilla et al. 1992, Sivila & Hervé 1994, Llambi & Sarmiento 1999, Sarmiento & Bottner 2002). Las bacterias acidófilas experimentan una disminución significativa ($P < 0.058$) en la etapa final del descanso (Tabla 3, Fig.1) influida por la elevación del pH del suelo (Tabla 5), puesto que este grupo es más sensible al efecto del pH que el resto.

La baja disponibilidad de nutrientes en la etapa temprana del descanso sugiere que una buena parte de la población microbiana esté constituida por formas inactivas, como lo demuestra el alto recuento de esporulados al inicio del descanso (Tabla 4).

La variable que presentó mayor correlación positiva con el tiempo de descanso fue el recuento de esporas de micorrizas arbusculares (Figura 1, tabla 4). Esta correlación (0.83) estaría relacionada con la vegetación nativa que se va instalando a lo largo de la sucesión, acumulándose en el suelo una riqueza radicular cuyo efecto rizosférico favorecería a la simbiosis micorrícica. Este supuesto está respaldado por diversos estudios que demuestran un incremento gradual de hongos micorrizógenos con la cobertura vegetal durante la sucesión (Janos 1980, Michelsen & Rosendsh 1989, Montilla et al. 1992, Angulo 1997). Probablemente a partir de una densa colonización de raíces con hongos micorrícicos arbusculares resultarían cambios en los exudados radiculares, que sirven como fuente de energía y de nutrientes para los microorganismos (Ames et al. 1984, Meyer & Linderman 1986, Puppi et al. 1994). Además, con este crecimiento del número de esporas de micorrizas arbusculares, se está recuperando una población microbiana a lo largo del descanso, considerando que en las esporas de diversas especies de hongos micorrícicos arbusculares ha sido confirmada la presencia de un gran número de bacterias (Tillak et al. 1989, Vancura et al. 1989). Estas "bacteria like organism" (BLO'S) como las denominan Macdonald & Chandler (1981) y Paula et al. (1993) parecen estar presentes en la superficie y dentro las paredes de las esporas. Poco se conoce sobre la identidad y funciones de esos organismos que estarían enriqueciendo el suelo con bacterias que tengan diversas funciones.

La riqueza microbiana de un suelo se mide también por su mayor o menor actividad enzimática (Guerrero et al 1982, Acea & Carballas 1985). En este estudio se analizó la actividad proteolítica y amilolítica de los suelos. El aumento significativo de la población proteolítica en la etapa final (Tabla 3) y el comportamiento de la actividad proteolítica potencial más elevada en la última etapa del descanso (Figura 2), parecen indicar que en los

terrenos con más de 10 años de descanso los microorganismos proteolíticos se encontrarían ecológicamente más estabilizados. Con los años de descanso va creciendo la contribución de residuos para la biodegradación proteolítica en compuestos ricos en proteínas provenientes de la microfauna, microbiota, entre otros. En tanto que la actividad amilolítica potencial (Figura 3) muestra ser algo más pronunciada en las etapas inicial e intermedia; esto probablemente podría estar relacionado con los restos vegetales provenientes de la vegetación colonizadora del descanso que estimularía en los primeros años a la actividad amilolítica de los microorganismos del suelo.

Resumiendo el conjunto de los análisis químicos y microbiológicos del suelo, los resultados muestran que en la etapa temprana del descanso existe un bajo contenido de nutrientes y microbiota en general, que luego van aumentando en la etapa final del descanso. Esta tendencia respalda los resultados obtenidos en la comunidad altiplánica de Pumani vecina a Patarani (Hervé & Sivila 1997) que revelaron una mayor sensibilidad a la duración del descanso de los cationes intercambiables, la acidez del suelo y las esporas de micorrizas arbusculares.

Conclusiones

Los resultados de este estudio muestran la tendencia al incremento que presentan diversos factores del suelo después de más de 10 años de descanso y que podría contribuir a explicar la recuperación de la fertilidad. El aumento significativo de la biomasa microbiana y especialmente de las esporas de micorrizas arbusculares nos indica que la microbiota del suelo debería tomarse en cuenta cuando se evalúan la fertilidad y la calidad del suelo. Al analizar grupos diferentes de microorganismos - una ínfima parte de los microorganismos del suelo - se encuentran grupos que disminuyen a lo largo del descanso porque se encuentran relacionados con las condiciones químicas del

suelo que evolucionan también con el descanso.

Es innegable que la eliminación y/o acortamiento del periodo de descanso en parcelas de Patarani acarrea el empobrecimiento del suelo en nutrimentos y en la composición de la microbiota que podrían afectar, a corto plazo, al deterioro del suelo. Por el comportamiento de las esporas de micorrizas arbusculares, se postula a este componente de la microbiota como un indicador de la recuperación de la fertilidad de los terrenos en descanso en el Altiplano.

Agradecimientos

Este estudio fue financiado por la Comunidad Europea, dentro del proyecto Tropandes. (INCO-DCN° IC18-CT98-0263). Agradecemos a la Dra. Lina Sarmiento, integrante del Proyecto Tropandes, por su colaboración incondicional.

Referencias

- Acea, M. J. & T. Carballas. 1985. First results of a study of the microbial population of humid zone granitic soils. *Anales de Edafol. y Agrobiol.* 44: 395-411.
- Acea, M. J. & T. Carballas. 1987. Distribución y variación estacional de la población microbiana de un suelo húmifero Atlántico. *Anales de Edafol. y Agrobiol.* 46: 285-300.
- Angulo, W. 1997. Relación simbiótica entre HMA - *Baccharis incarum* y su papel en la recuperación de los suelos del altiplano. Tesis de Grado, Universidad Mayor de San Andrés. La Paz. 118 p.
- Ames, R. N., C.P. Reid & E. R. Ingham. 1984. Rhizosphere bacterial population responses to root colonization by vesicular - arbuscular mycorrhizal fungus. *New Phytol.* 96: 555-563.
- Aranguren, A., Monasterio, M., 1997. Aspectos de la dinámica del N en parcelas con diferentes tiempos de descanso en el páramo de Gavidia (Andes Venezolanos). Pp 171-181. En: Liberman, M. & C. Baied (eds.). *Desarrollo Sostenible en Ecosistemas de Montaña: Manejo de Áreas Frágiles en los Andes.* Univ. de las Naciones Unidas, La Paz.
- Brookes, P. C., A. Landman, G. Pruden, & D. S. Jenkinson. 1985. Chloroform fumigation and the release of soil nitrogen: a rapid direct extraction method to measure microbial biomass nitrogen from soil. *Soil Biology and Biochemistry* 17(6): 837-842.
- Burns, R. G. 1979. Interaction of microorganisms, their substrates and their products with soil surfaces. pp. 109-138. En: D. C. Ellwood, J. N. Hedger, M. J. Lathaam, J. M. Linch, & J. H. Slater (eds). *Adhesion of Microorganism to Surfaces.* Academic Press, Londres.
- Camacho, M. 2001. La gestión del espacio y las prácticas de manejo del suelo en la región altiplánica de Bolivia: el caso de la comunidad de Patarani en la Provincia Aroma. Tesis de Magister Scientiae en Ecología y Conservación, Instituto de Ecología, Universidad Mayor de San Andrés, La Paz. 82 p.
- Cattelan, A.J., C. Vidor. 1990. Sistemas de cultivo y la población microbiana del suelo. *R. Bras. Ci. Solo, Campinas* 14: 125-132.
- Guerrero, M. C., J. M. Lozano Calle & C. Ramirez. 1982. Actividad de la microflora de tres humus representativos del centro de España. *Anal. Edaf. y Agrob.* 36: 1961-1973.
- Hervé, D. 1994. Respuestas de los componentes de la fertilidad del suelo a la duración del descanso. Pp. 154-169. En: D. Hervé, D. Genin & G. Rivière. (eds.). *Dinámicas del Descanso de la Tierra de los Andes.* IBTA- ORSTOM, La Paz.
- Hervé, D. & R. Sivila 1997. Efecto de la duración del descanso sobre la capacidad de producir en las tierras altas de Bolivia. 189-199. En: Liberman, M. & C. Baied (eds.). *Desarrollo Sostenible en*

- Ecosistemas de Montaña: Manejo de Áreas Frágiles en los Andes. Univ. de las Naciones Unidas, La Paz.
- Insam, H. & K. H. Domsch. 1988. Relationship between soil organic carbon and microbial biomass on a chronosequence of reclamation sites. *Microbial Ecology* 15: 177-188.
- Janos, D. P. 1980. Mycorrhizal influence tropical sucesion. *Biotropica* (Supl). 12: 56-64.
- Kraft, K. 1994. La intensificación agraria bajo el manejo comunal. Modificaciones del descanso rotativo en dos regiones andinas. pp. 305–319. En: Hervé, D., D. Genin & G. Riviere (eds.). *Dinámicas del Descanso de la Tierra de los Andes*. IBTA-ORSTOM, La Paz.
- Llambi, L. D. & L. Sarmiento. 1998. Biomasa y otros parámetros edáficos en una sucesión secundaria de los páramos venezolanos. *Ecotropicos* 11 (1): 1-14.
- Llambi, L. D. & L. Sarmiento. 1999. Ecosystem restoration during the long fallow periods in the traditional potato agriculture of the Venezuelan high Andes. Pp. 190-192. En: Price, M. (ed.). *Global Change in the Mountains*. The Parthenon Publishing Group, Nueva York.
- Macdonald, R. M. & M. R. Chandler. 1981. Bacterium like organelles in the vesicular-arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus caledonius*. *New Phytol.* 98 (2): 241-256.
- Marumoto, T., J. P. E. Anderson & K. H. Domsch. 1982. Mineralization of nutrients from soil microbial biomass. *Soil Biol. Biochem.* 14: 469–475.
- Meyer, J. R. & R. G. Linderman. 1986. Selective influence on populations of rhizosphere or rhizoplane bacteria and actinomycetes by mycorrhizae formed by *Glomus fasciculatum*. *Soil. Biochem.* 18 : 101–196.
- Michelsen, A. & I. Rosendsh. 1989. Propagule density of V. A. Mycorrhizae fungi in semi-arid bushland in Somalia. *Annal. Edafol. Environment* 29: 295–301.
- Montes de Oca, I. 1997. Geografía y recursos naturales de Bolivia. 3ra. ed. EDOBOL, La Paz. 614 p.
- Montilla, M., R. P. Herrera & M. Monasterio. 1992. Micorrizas vesículo-arbusculares que se encuentran en sucesión - regeneración en los Andes tropicales. *Suelo y Planta* 2 (1): 59-70.
- Paula, M. A., J. O. Siquiera & J. Dobereiner. 1993. Ocorrencia de fungos micorrízicos vesículo-arbuscular e bacterias diazotróficas na cultura de batata – doce. *R. Bras. Ci. Solo Campinas* 17: 349 – 356.
- Puppi, G., R. Azcón, & G. Hoflich. 1994. Management of positive interactions of arbuscular mycorrhizal fungi with essential groups of soil microorganisms. pp. 201–215. En: Gianinazzi, S. & H. Schuepp (eds.). *Impact of Arbuscular Mycorrhizae on Sustainable Agriculture and Natural Ecosystems*. Birkhäuser Verlag, Basel.
- Reyes, G. & E. Vargas. 1999. Leguminosas: calidad, mineralización y efecto sobre la biomasa microbiana del suelo. *Ciencia ergo Sum.* 5 (3): 305-311.
- Salm, H. 1983. Estudio preliminar de suelos del Altiplano Central de Bolivia. *Ecología en Bolivia* 4: 43-57.
- Sarmiento, L. & P. Bottner. 2002. Carbon and nitrogen dynamics in two soils with different fallow times in the high tropical Andes: indications for fertility restoration. *App. Soil Ecology* 19: 79-89.
- Sarmiento, L., M. Monasterio & M. Montilla. 1993. Ecological base, sustainability, and current trends in traditional agriculture in the Venezuelan High Andes. *Mountain Research and Development* 13 (2): 167-176.
- Sieverding, E. 1989. Manual de métodos para la investigación de la micorriza vesículo arbuscular en el laboratorio. CIAT, Cali. 116 p.

- Sivila, R. 1994. Comportamiento de la microflora del suelo bajo un sistema de rotación de cultivos en la región de Huaraco. Altiplano Central. Ecología en Bolivia 23: 33-47.
- Sivila, R. & D. Hervé 1994. El estado microbiológico del suelo, indicador de la restauración de la fertilidad. pp. 185-197. En: Hervé, D. , D. Genin & G. Riviere. (eds.). Dinámicas del Descanso de la Tierra de los Andes. IBTA- ORSTOM, La Paz.
- Sivila R. & D. Hervé. 2001 Análisis de la microbiota en suelos cultivados del Altiplano Central. Pp. 5-14. En: Memorias del Primer Congreso boliviano de la Ciencia del Suelo del 28-31 Julio 1999, La Paz.
- Tillak, V. B. R., C. Y. Ly & I. Ho. 1989. Occurrence of nitrogen-fixing *Azospirillum vesicular* arbuscular mycorrhizal fungi. Pl. Soil 116(2): 286-288.
- Vancura, V. M., O. Orozco, O. Gravova & Z. Prikryl. 1989. Properties of bacteria in the hyphosphere of a vesicular-arbuscular mycorrhizal fungus. Agric. Ecosyst. Environment. 29: 421-427.