

Análisis de la microbiota en suelos cultivados del Altiplano Central

Ruth Sivila¹ y Dominique Hervé²

1 Instituto de Ecología. Casilla 10077. Campus Universitario Calle 27, Cota Cota. La Paz, Bolivia.

Teléfono 793281, Fax 433665, email: rsivila@caoba.entelnet.bo

2 CIP/CONDESAN. Apartado 1558. Lima 12, Perú. Teléfono 3496017. Fax 3495638. email: d.herve@cqiar.org

RESUMEN

Se estudió la población microbiana en una rotación de cultivos, con descanso, común en el Altiplano Central boliviano. Se determinó la presencia y densidad de cuatro grupos taxonómicos de microorganismos: bacterias, hongos, actinomicetos y esporas de las micorrizas arbusculares en el suelo rizosférico de cuatro cultivos de la rotación (papa, quinua, cebada y avena); en las principales especies silvestres perennes (*Stipa ichu*, *Festuca dolichophylla*, *Baccharis incarum*) que colonizan las parcelas en descanso y en parcelas entre uno y más de 20 años de descanso. Se explora luego las relaciones entre las poblaciones de microorganismos y algunas características del suelo: textura, materia orgánica (carbono orgánico, nitrógeno total) y fósforo asimilable. Se relaciona finalmente los datos de suelo, microbiota y duración del descanso, mediante un análisis en componentes principales.

El cultivo de quinua, no-hospedero de micorrizas arbusculares, provoca un descenso en la población de esporas micorrízicas en el suelo rizosférico, así como de bacterias asociadas. La población de esporas de micorrizas presentes en el suelo tiene tendencia a aumentar después de 5-6 años de descanso. En los terrenos en descanso, las esporas de micorrizas arbusculares son más abundantes debajo de *Baccharis incarum* que de *Stipa ichu* y más abundantes que en suelo desnudo. Se observa relaciones entre la microbiota y la textura del suelo, el carbono orgánico y el fósforo asimilable.

INTRODUCCION

En el ámbito mundial, en los últimos años, las investigaciones en suelo han experimentado avances significativos. Sin embargo, no todas las ramas de la ciencia del suelo han alcanzado el mismo nivel de desarrollo, por lo que existe un desfase notable entre los conocimientos adquiridos sobre los procesos físicos y químicos que tienen lugar en el suelo y los procesos microbiológicos. Este desfase es todavía mucho más acentuado si nos referimos a los suelos bolivianos, ya que existe información sobre sus clasificaciones y sus propiedades pero son escasas las referencias sobre su composición microbiana y su respectiva actividad.

La microbiota del suelo es de gran importancia debido a los procesos en que interviene: descomposición y mineralización de la materia orgánica, formación y estabilización de los agregados de suelo, ataques a rocas y minerales, participación en los ciclos biogeoquímicos, además, constituye en sí un reservorio lábil de elementos nutritivos. Debido a ello, la microbiota del suelo es considerada por muchos autores como un agente decisivo tanto en la fertilidad del suelo como en la alimentación de las plantas (Montilla et al., 1992; Wardle, 1992; Sarmiento, 1995; Acea, 1996). Anderson y Domsch (1980), Sarmiento (1995) han evidenciado que la cantidad de nutrientes inmovilizados en los microorganismos es del mismo orden que las cantidades requeridas por el cultivo. Sin embargo, aún cuando la contribución de los microorganismos es reconocida, generalmente, éstos no son tomados en cuenta en los estudios de fertilidad.

El presente estudio busca adquirir conocimientos básicos de la microbiota, así como de los factores que intervienen en su presencia y actividad en suelos agrícolas del Altiplano Central boliviano. Para ello, se cuantifica la población microbiana en cultivos y en parcelas en descanso y posteriormente se relaciona con algunas características del suelo.

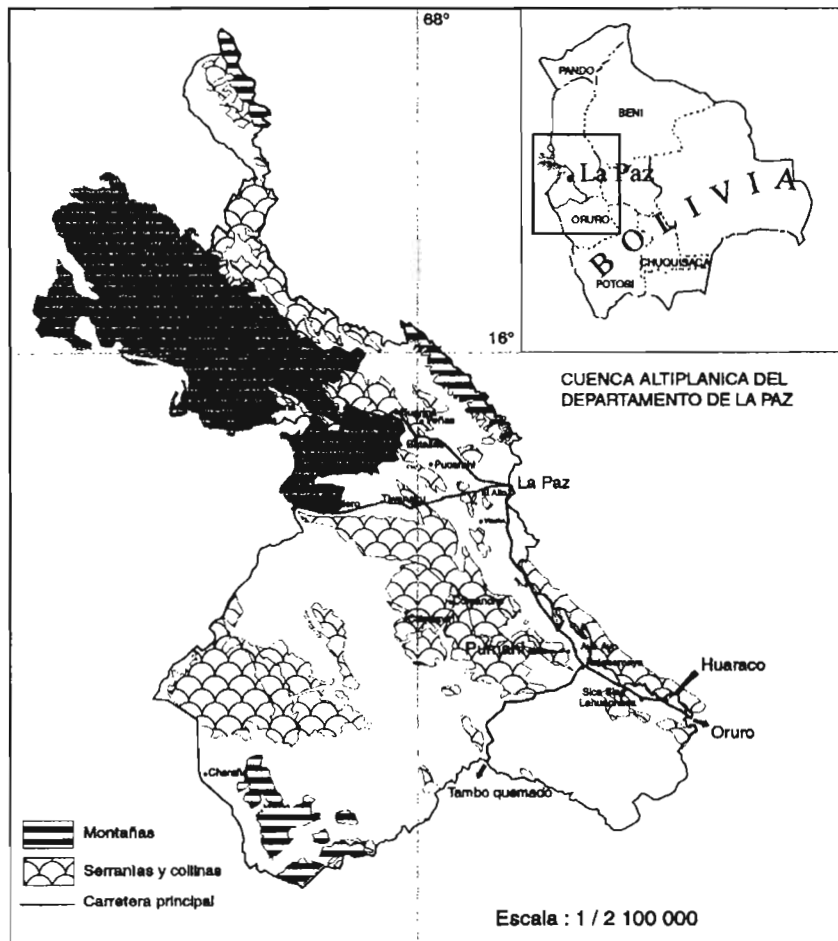


FIGURA 1. Ubicación de las comunidades en estudio.

MATERIALES Y METODOS

Los suelos en estudio pertenecen a las comunidades de Huaraco, Pumani y Patarani, ubicadas en la provincia Aroma del departamento de La Paz, a una altura promedio de 3800 msnm (Figura 1). Estas regiones son representativas de las condiciones del Altiplano Central boliviano, presentando baja densidad atmosférica y elevada radiación solar, clima semiárido con grandes amplitudes térmicas diarias y heladas. La temperatura media anual varía entre 8 y 10°C, las precipitaciones anuales son de 400 mm a 450 mm.

El suelo en descanso se rotura para sembrar papa (*Solanum tuberosum* var. *andigenum*), el único cultivo de la rotación que recibirá fertilización orgánica, siguen en general dos años de cultivo. En Huaraco se estudió los cultivos de cebada (*Hordeum vulgare*), avena (*Avena sativa*) y al final de la rotación, quinua (*Chenopodium quinoa*). En esta secuencia se analizó la densidad de la microbiota, bimensualmente hasta la cosecha. Para la época de descanso, se dispone de tres puntos de referencia.

En Huaraco, se usó una parcela cercada de 12 años de descanso con presencia de *Baccharis incarum*, *Parastrephia lepidophylla*, *Fabiana densa*, *Festuca dolichophylla*, *Stipa ichu*. En Pumani, se monitoreó *in situ* la población de los microorganismos en parcelas entre uno y más de 20 años de descanso. En Patarani, se estudia actualmente parcelas representativas de las tres etapas del descanso: 1-2, 5-7 y 10-20 años.

Se obtuvieron muestras en el horizonte superficial, hasta una profundidad de 20 cm, que se caracteriza por un bajo contenido de materia orgánica y baja capacidad de intercambio catiónico, de textura franco-arenosa, pH neutro a ligeramente ácido y contenido de fósforo variable (Cuadro 1).

CUADRO 1. Características del suelo en estudio

Localidad	Textura	pH H ₂ O	MO %	N total %	P Olsen ppm	C/N	Ca	Mg meq.100gr ⁻¹	K
Huaraco cultivos en rotación *	FA	6	1.6	0.14	15	12	5.8	2.4	1.18
Pumani parcelas en descanso **	FA	6.5	1.4	1.17	5.6	5.9	4.3	1.54	0.67

* Promedio de 8 observaciones ** Promedio de 16 observaciones.

Para los estudios microbianos, se utilizaron las técnicas señaladas por diferentes autores (Clark, 1965; Kauri, 1982; Acea y Carballas, 1996) y las metodologías descritas en Sivila (1994) y Sivila y Hervé (1994). La determinación del número de microorganismos se efectuó en medios selectivos sólidos, mediante el recuento de unidades formadoras de colonias (UFC), expresadas en unidades por 100 gramos de suelo seco. Se separó una parte de la muestra para determinar el porcentaje de humedad. Se sembraron 3 placas por dilución, con 3 diluciones, incubando a 28 °C durante 7 a 10 días.

Para valorar la presencia de las micorrizas arbusculares se sacó muestras de las raíces y del suelo rizosférico de los cultivos y, en las parcelas en descanso, solo del suelo. El aislamiento y la valoración de las esporas de los hongos micorrizógenos y del porcentaje de raíz colonizada se realizaron siguiendo los métodos clásicos de Gerdeman y Nicholson (1963), Giovanetti y Mosse (1980) y Sieverding (1989).

El conjunto de las determinaciones físico-químicos del suelo y de las poblaciones de cada grupo taxonómico de microorganismos, bacterias, hongos, actinomicetos y esporas de micorrizas arbusculares se relacionó al final con la duración del descanso mediante un análisis en componentes principales (ACP, STATITCF).

RESULTADOS

La microbiota en la sucesión de cultivos

Durante la sucesión de cultivos, la población microbiana total alcanza valores promedio que van desde 1.6 millones de microorganismos por gramo de suelo seco (gss) en cereales a 1.4 millones en papa y menos de 0.5 millones en el último cultivo de quinua (Cuadro 2). Los valores iniciales pueden ser mucho más elevados en el cultivo de papa, según la cantidad de estiércol que recibe como cabeza de rotación.

CUADRO 2. Densidad microbiana en la rizosfera de diferentes cultivos (Huaraco)

Especies cultivadas	Unidades formadoras de colonias UFC10 ⁴ g ⁻¹ suelo seco	% de infección de raíz por micorrizas	Esporas micorrizas por 100 g. suelo seco (± SD)*
<i>Solanum tuberosum</i>	143.9	57	1270 ± 83
<i>Hordeum vulgare</i>	165.1	50	1050 ± 170
<i>Avena sativa</i>	165.0	50	1100 ± 240
<i>Chenopodium quinoa</i>	45.8	0	700 ± 180

*Por tratarse de muestras compuestas, la desviación estándar sólo indica el error experimental entre las repeticiones. Fuente : Sivila (1994)

Se destaca un efecto del cultivo sobre la cantidad de esporas micorrízicas en la rizósfera y de unidades formadoras de colonias (Cuadro 2). A diferencia de los tubérculos y gramíneas, el último cultivo de la rotación, la quinua es un cultivo no-hospedero de micorrizas arbusculares, como lo son la mayoría de las Quenopodiáceas (Ocampo et al., 1980). Las hifas de las esporas germinadas en

campo no pueden colonizar la raíz de este cultivo y acaban pereciendo, dando como consecuencia la disminución en número y diversidad de esporas de micorrizas arbusculares.

Microbiota en la vegetación colonizadora del descanso

La sucesión de especies vegetales durante el descanso, anuales, gramíneas perennes y arbustos, deja suponer una interacción entre la vegetación y la microbiota del suelo. En la parcela cercada de Huaraco, el porcentaje de infección de la raíz por micorrizas arbusculares varía según las especies nativas (Cuadro 3). En orden de importancia tenemos *Baccharis incarum*, *Festuca dolichophylla* y *Stipa ichu*. Globalmente, el suelo rizosférico de las especies silvestres presentó una densidad de esporas micorrízicas arbusculares mucho mayor que el de las especies cultivadas (2050 esporas cada 100 g de suelo seco frente a 1000 esporas cada 100 g de suelo seco en las especies cultivadas).

CUADRO 3. Población de micorrizas en especies nativas en un terreno cercado de 12 años de descanso (Huaraco)

Especies nativas	% infección de raíz por micorrizas arbusculares
<i>Baccharis incarum</i>	88
<i>Festuca dolichophylla</i>	79
<i>Stipa ichu</i>	50

Fuente : Sivila (1994)

En Pumani, la vegetación nativa en las parcelas en descanso tiene una cobertura máxima de 30%. Se realizó un muestreo en el suelo desnudo (a más de 20 cm de las plantas) y debajo de las principales especies perennes, una gramínea *Stipa ichu* y un arbusto *Baccharis incarum* (Cuadro 4).

CUADRO 4. Efecto de la vegetación de *Baccharis incarum* y *Stipa ichu* sobre la microflora de un suelo en descanso (Pumani)*

Muestra suelo	Bacterias 10 ⁵	Hongos 10 ⁵	Actinomicetos 10 ⁵	Total microorg. 10 ⁵	Micorrizas
Debajo <i>Baccharis</i>	485	39	543	1067	1815
Entre <i>Baccharis</i>	178	38	484	700	868
Debajo <i>Stipa ichu</i>	203	75	669	947	1745
Entre <i>Stipa ichu</i>	166	48	769	1010	1259

*Valores promedios de los dos muestreos de 1992, referidos a 100 g de suelo seco

Fuente : Sivila y Hervé (1994: 192)

Los microorganismos son más abundantes en la rizósfera de *Baccharis incarum* y *Stipa ichu* que en suelo desnudo. El efecto positivo de *Baccharis incarum* es nítido sobre la cantidad de bacterias y sobre las esporas micorrízicas. En el caso de *Stipa ichu*, el efecto rizosférico es observable en bacterias, hongos y en menor proporción en micorrizas. El aumento de microorganismos es mayor debajo de *Baccharis* que debajo de *Stipa*. Para el total de microorganismos, la diferencia entre el suelo rizosférico y el suelo distante no es significativa. La copa de plantas adultas de *Baccharis incarum* posiblemente reduce fluctuaciones térmicas, aumenta la humedad en el suelo y acumula más hojarasca con resina que las gramíneas, lo que podría favorecer la microflora del suelo. Se debería investigar el efecto de la necromasa sobre la microflora del suelo y complementar el estudio con otras especies nativas muy comunes en el descanso: *Parastrephia lepidophylla* y *Tetraglochin cristatum*.

Comportamiento de los grupos taxonómicos

En Pumani, la determinación de solamente el stock de elementos químicos en el suelo no permitió poner en evidencia una recuperación clara de la fertilidad al final del descanso (Hervé, 1994; Hervé y Sivila, 1997). Sin embargo, al relacionar los diferentes grupos taxonómicos con el tiempo de descanso, el grupo que mayor tendencia denota es el de las esporas de las micorrizas arbusculares (Figura 2), puede verse en esta figura que hasta los 5 años de descanso la población de micorrizas es muy variable, dependiendo del manejo de la sucesión de cultivos anteriores y del último cultivo. Sin embargo, a partir de los 7 años, tiende a incrementarse con los años en descanso. Considerando la

totalidad de las parcelas, se obtiene un coeficiente de correlación de 0.35 entre la población de micorrizas y la edad del descanso. Si se toma en cuenta solamente las parcelas entre 8 y 20 años de descanso, este coeficiente de correlación se incrementa a 0.49 (probabilidad 1.84%, $R^2 = 0.24$). Los actinomicetos como las otras categorías de microorganismos no muestran tendencia nítida.

En Patarani (Cuadro 5), observamos también que la población de micorrizas arbusculares aumenta en un factor 10 entre el inicio y el final del descanso, cuando las bacterias aumentan solamente por un factor 2; en cambio el recuento de hongos y de actinomicetos no demuestra ninguna relación con el descanso del suelo.

CUADRO 5. Población de microorganismos en suelo en descanso (Patarani) *

Duración del descanso (años)	Bacterias 10^7	Hongos 10^5	Actinomicetos 10^7	Micorrizas
1 - 2	70	65	23.9	372
	72	24	21.3	284
5 - 7	97	17	35.4	572
	87	7	15	1800
10 - 20	155	68	4	3008
	169	138	19	4040

* Muestras 03/99. Proyecto UE Tropandes IC18-CT98-0263 (D612-CDPE)

Relaciones entre microbiota y características del suelo

En algunas parcelas en descanso de Pumani se logró realizar dos muestreos de suelo simultáneos, uno para el análisis químico y otro, repetido en épocas seca y húmeda, para el análisis microbiológico. De esta manera, se podía estudiar las posibles interacciones entre la microbiota y algunas características del suelo. Se presenta solamente las relaciones más notorias con la textura, el carbono y el fósforo.

El indicador más pertinente de la textura es, en este caso, la tasa de arena que es la que más varía. Se encuentra que los suelos más arenosos son más pobres en materia orgánica. Se relaciona entonces la población de microorganismos con ambas variables. No se encontró relación con las bacterias (Figura 3), posiblemente porque la calidad de la materia orgánica (C/N) influye más que su cantidad. Tanto las micorrizas arbusculares (Figura 4), como los actinomicetos (Figura 5) tienden a disminuir cuando la tasa de arena aumenta de 40 a 70% y cuando, paralelamente, la tasa de materia orgánica baja de 1.7 a 0.7%. Los actinomicetos y los hongos tienen una tasa de correlación similar con el C orgánico: 0.397 ($R^2=0.16$) y 0.414 ($R^2=0.17$), respectivamente.

Numerosas investigaciones relacionan negativamente el contenido en fósforo del suelo con la cantidad de esporas de micorrizas arbusculares (Siqueira y Paula, 1986). En la figura 6, se observa la disminución de la población de micorrizas con el fósforo asimilable Olsen. Se midió una correlación negativa, aunque poco nítida, entre micorrizas y fósforo (- 0.41, probabilidad 1%, $R^2=0.17$). Además, el contenido de fósforo disminuye con la edad del descanso, posiblemente por encontrarse capturado por la biomasa vegetal que se instala durante estos años de descanso. Las micorrizas ayudan a este proceso y se encuentran con mayor abundancia al final del descanso (Figura 2).

Análisis en componentes principales

Para verificar las relaciones entre la duración del descanso, las poblaciones de microorganismos y las características del suelo, se cruzaron estas informaciones mediante un análisis en componentes principales. Se logra así representar con cuatro ejes principales 88.3% de la variabilidad total (Cuadro 6). El círculo de correlación correspondiente al primer plano se presenta en la figura 7.

CUADRO 6. Ejes principales del ACP, evaluación microbiológica 1992*

Variables	Eje 1	Eje II	Eje III	Eje IV
% de variación	42.4	20.9	14.6	10.4
Edad descanso	0.22	0.31	0.02	0.32
Arena	0.85	0.02	0.01	0
MO	0.69	0.17	0.05	0
C/N	0.06	0.68	0.01	0.19
P	0.36	0.31	0.20	0
Ho	0.37	0.03	0.29	0.23
Ba	0.01	0.21	0.54	0.15
Ac	0.60	0.10	0	0.01
Mi	0.65	0.05	0.18	0.01

*Porcentajes de la variación total explicados por cada eje y correlaciones al cuadrado entre variables y ejes. Fuente: Hervé (1994)

El primer eje (42.4% de la variabilidad) reúne a micorrizas, actinomicetos y materia orgánica en oposición a la tasa de arena. Esta interpretación del eje I esta conforme a las relaciones expuestas entre microorganismos, tasa de arena y de materia orgánica (Figuras 4 y 5). El segundo eje (20.9%) opone el C/N y el fósforo a la duración del descanso. Hemos visto que el contenido en fósforo bajaba con la edad del descanso. La relación del C/N nos da pautas más precisas de interpretación que solamente el contenido de materia orgánica. El tercer eje (14.6%) opone bacterias a hongos. Se ha notado anteriormente un comportamiento de las bacterias diferente al de los otros microorganismos.

CONCLUSIONES

Las bacterias predominan sobre los demás grupos taxonómicos, actinomicetos y hongos. Las esporas de micorrizas constituyen el grupo que denota una relación tanto con el manejo de los cultivos como con la duración del descanso. Se puso en evidencia una micorrización en *Baccharis incarum* mayor que en gramíneas perennes (*Stipa ichu*, *Festuca dolichophylla*), todas son especies colonizadoras del descanso. Se confirmó que la valoración de esporas de las micorrizas arbusculares es un posible indicador del restablecimiento de la fertilidad microbiológica de los terrenos en descanso. En cuanto a la fertilidad global del suelo, queda claro que se debe integrar las características físicas, la disponibilidad de los elementos químicos y la microbiología del suelo.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece a la Comunidad Europea (Proyecto Tropandes 1998-2001, INCO-DC N° IC18-CT98-0263 (D612-CDPE)) por haber dado continuidad (en la comunidad de Patarani) a las investigaciones microbiológicas antes realizadas bajo convenio entre el I.E. y el I.R.D. para estudios microbianos en el Altiplano central boliviano.

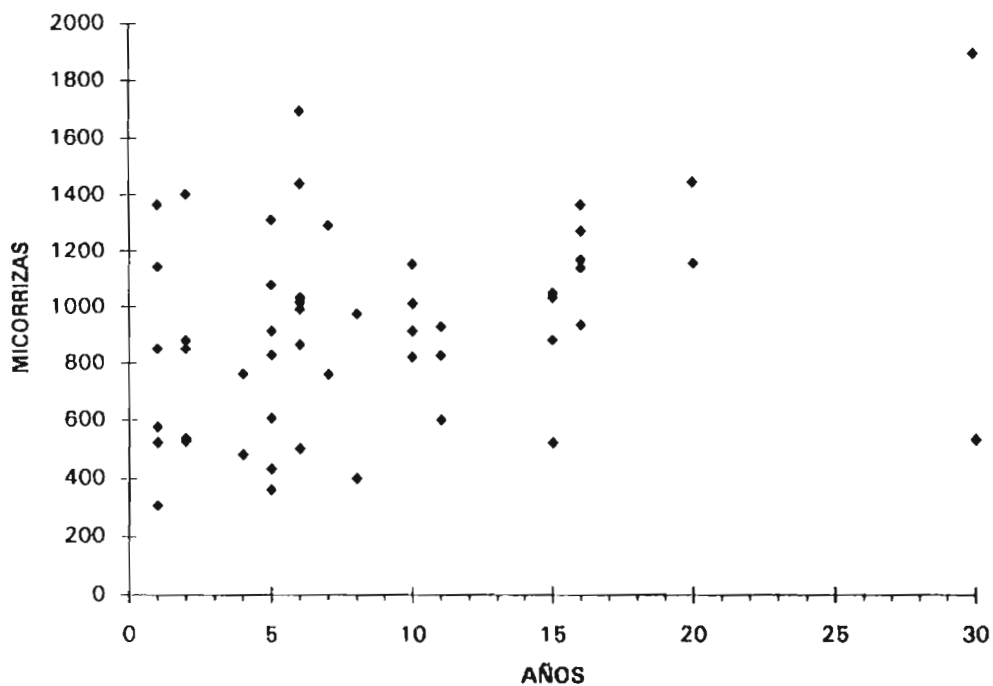


FIGURA 2. Relación entre número de esporas MVA y duración del descanso del suelo (1992-93).

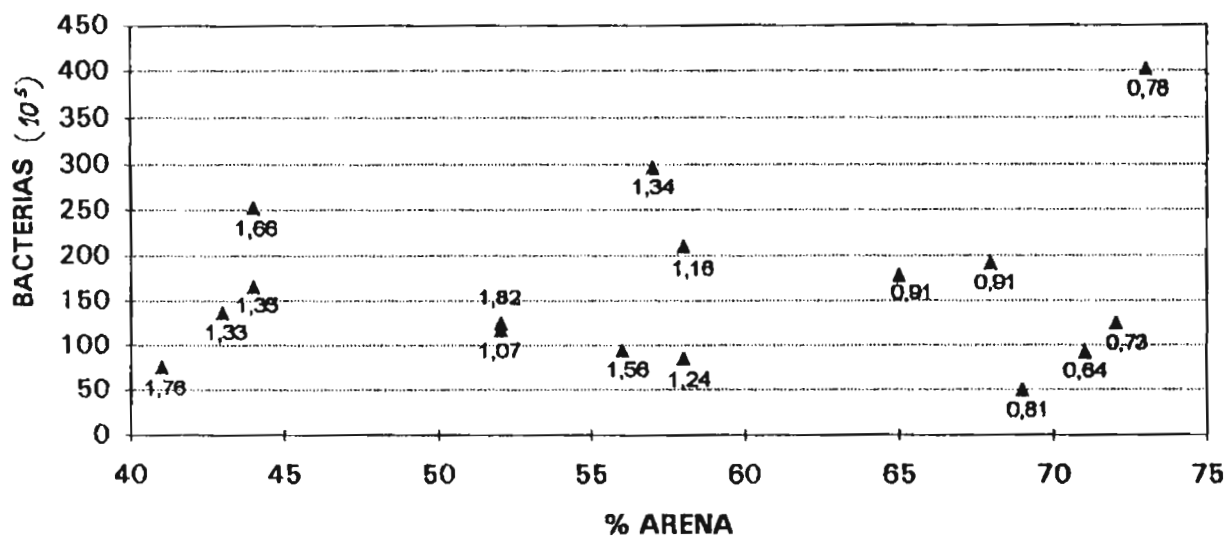
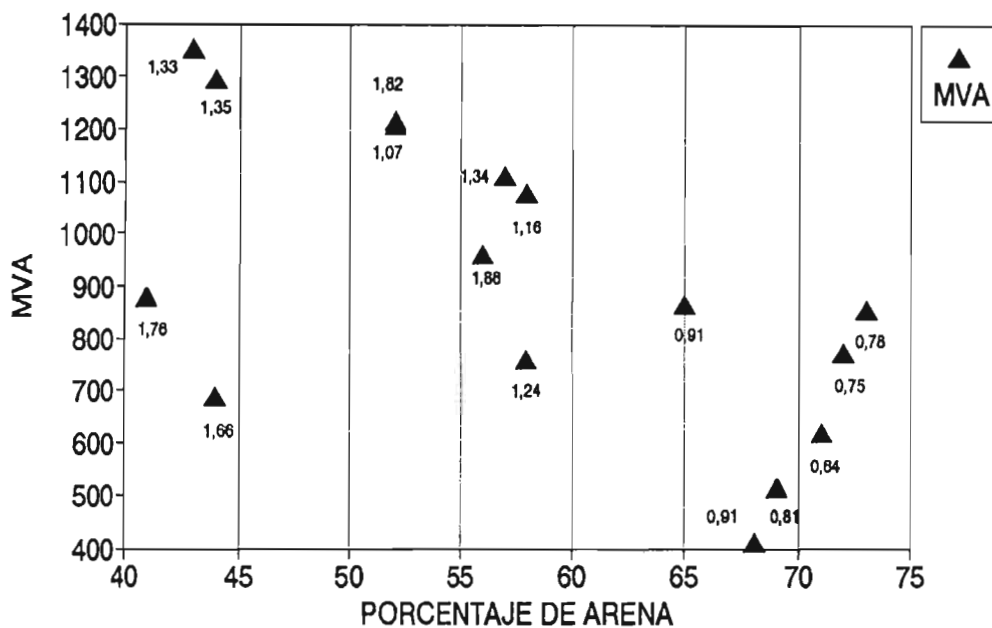


FIGURA 3. Relación entre población de bacterias ($10^5 \cdot 100g^{-1}$), % de arena y % de materia orgánica. Sivila y Hervé (1994).



NOTA : ▲ 1,66 % MATERIA ORGANICA

FIGURA 4. Relación entre valoración de esporas MVA, % de arena y % de materia orgánica. Sivila y Hervé (1994).

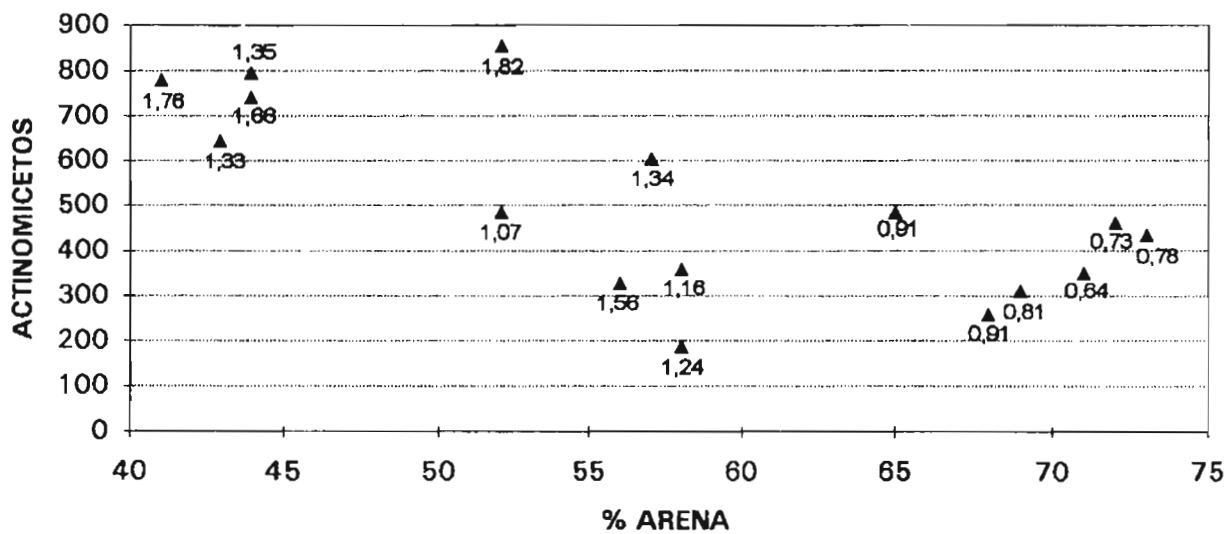


FIGURA 5. Relación entre población de actinomicetos, % de arena y % de materia orgánica. Sivila y Hervé (1994).

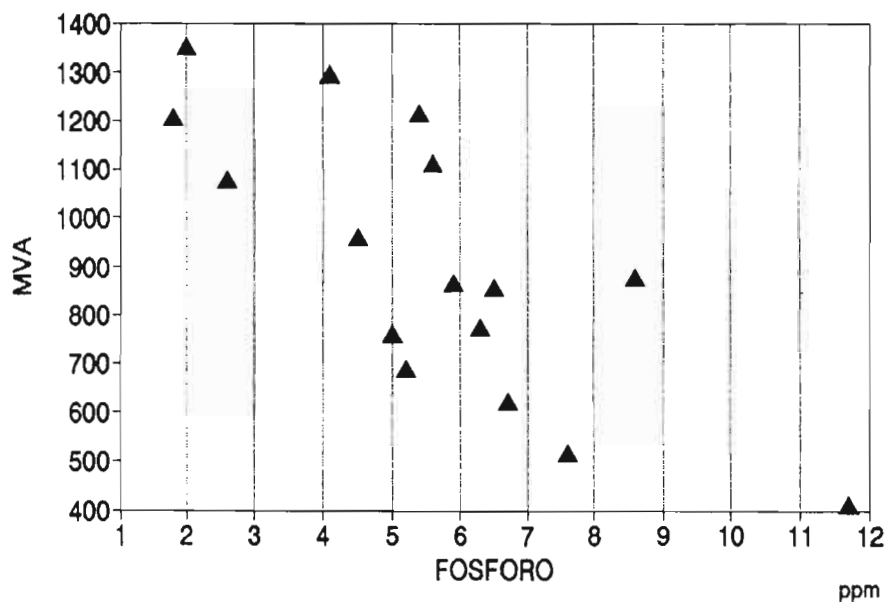


FIGURA 6. Relación entre fósforo asimilable (Olsen) y número de esporas MVA. Sivila y Hervé (1994).

PLANO 1 2

EJE 1 HORIZONTAL; EJE 2 VERTICAL

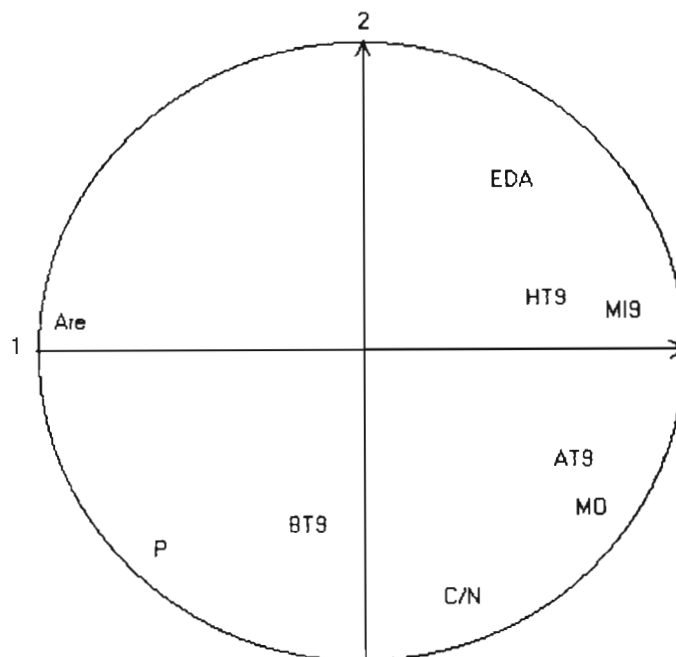


FIGURA 7. Círculo de correlaciones, primer plano ACP (1992).

BIBLIOGRAFIA

- Acea, M.J. y Carvallas, T., 1996. Changes in physiological groups of microorganisms in soil following wild fire. *FEMS, Microb. Ecol.* 20: 33-39.
- Anderson, J.P., Domsch, K.H., 1980. Quantities of plant nutrients in the microbial biomass of selected soil. *Soil Science* 130: 211-216.
- Clark, F.E., 1965. Agar plate methods for total microbial count. En Black C.A., Evans D. (Eds.): *Methods for analysis chemical and microbiological properties*, Madison, W.I., pp 1460-1465.
- Gerdeman, J.W., Nicholson, S.T., 1963. Spores of mycorrhizae endogone species extracted from soil by wet sieving and decanting, *Trans. Brit. Mycol. Soc.*, 15 (3): 243-259.
- Giovanetti, M., Mosse, B., 1980. An evaluation of techniques for measuring vesicular-arbuscular mycorrhizal infections in roots. *New Phytol.*, 84: 489-500.
- Hervé, D., 1994. Respuesta de los componentes de la fertilidad del suelo a la duración del descanso. En Hervé D., Genin D., Rivière G. (Eds.), *Dinámicas del descanso de la tierra en los Andes*, La Paz, IBTA-ORSTOM, pp165-169.
- Hervé, D., Sivila, R., 1997. Efecto de la duración del descanso sobre la capacidad de producir en las tierras altas de Bolivia. En Liberman M., Baied C. (Eds.), *Desarrollo sostenible de ecosistemas de montaña: Manejo de áreas frágiles en los Andes*, La Paz, ONU-LIDEMA, pp 189-199.
- Kauri, T., 1982. Seasonal fluctuations in numbers of aerobic bacteria and their spores in four horizons of a beech forest soil. *Soil Biol. Biochem.*, 14: 185-190.
- Montilla, M., Herrera, R.A. y Monasterio, M., 1992. Micorrizas vesículo-arbusculares en parcelas que se encuentran en sucesión-regeneración en los andes tropicales. *Suelo y Planta*, 2: 59-70.
- Mosse, B., 1973. Advances in the study of vesicular-arbuscular mycorrhizae. *An. R. Phytopath.*, 11: 171-196.
- Ocampo, J.A., Martin, J., Hayman, D.S., 1980. Influence of plant interacciones on V.A. mycorrhizal infections. I Host and non host plants grown together. *New Phytol.* 84: 27-35.
- Sarmiento, L., 1995. Restauration de la fertilité dans un système agricole à jachère longue des hautes Andes du Vénézuéla. These doctorale Université de Paris-Sud, France.
- Sieverding, E., 1989. Manual de métodos para la investigación de micorrizas V.A., CIAT, Colombia.
- Siqueira, J.O., Paula, M.A., 1986. M.V.A. en mudas de cafeiro II efeito do fósforo no estabelecimento e funcionamento da simbiose. *Rev. Bras. Ci. Solo, Brasil, Campinas SP*, 10: 207-212.
- Sivila, R., 1994. Comportamiento de la microflora del suelo bajo un agroecosistema de rotación de cultivos en la región de Huaraco. *Altiplano Central. Ecología en Bolivia*, 23: 33-47.
- Sivila, R. y Hervé, D., 1994. El estado microbiológico del suelo, indicador de la restauración de la fertilidad. En Hervé D., Genin D., Rivière G. (Eds.), *Dinámicas del descanso de la tierra en los Andes*, La Paz, IBTA-ORSTOM, pp 185-197.
- Wardle, D., 1992. A comparative assessment of factor which influence microbial biomass carbon and nitrogen levels in soils. *Biological Reviews*, 67: 321-358.