

# Efecto de leguminosas nativas en terrenos en descanso sobre la microbiota del suelo durante un cultivo de papa (Altiplano central boliviano)

Effects of native legumes from fallow land on soil microbiota during potato crop in central Bolivian Altiplano

R. Sivila de Cary<sup>1</sup> & D. Hervé<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Instituto de Ecología, Casilla 10077, La Paz, Bolivia, email: rsivila@caryglobal.com

<sup>2</sup>Institut de Recherche pour le Développement, IRD, BP 64501, 34394 Montpellier Cedex 5, Francia, email: herve@mpl.ird.fr

## Resumen

Pese a los riesgos climáticos, en el Altiplano boliviano el productor campesino valoriza para su subsistencia un suelo pobre mediante un sistema de cultivo con descanso largo y sin usar insumos. La fijación natural del nitrógeno del suelo por las leguminosas nativas que colonizan el descanso podría ser una solución poco costosa para mejorar la producción de papa, que es el primer cultivo de la rotación y base de la alimentación. A partir de la incorporación de esta vegetación al suelo en el momento de la roturación, el componente microbiológico del suelo puede tener un papel decisivo como fuente de nitrógeno disponible para el cultivo de papa. Durante el ciclo agrícola 1999-2000 comparamos en una misma parcela con cinco años de descanso, roturada para papa, dos subparcelas con antecedentes diferentes: una dominada por gramíneas y la otra por leguminosas nativas (*Lupinus otto-buchtienii*, *Trifolium amabile*, *Astragalus micranthellus*). Comparamos entre la roturación, la siembra y la cosecha de papa (*Solanum tuberosum* var. *gendarme*): la biomasa microbiana, el NMP de la población total microbiana y el recuento de bacterias, hongos, actinomicetos y de esporas de micorrizas arbusculares. Durante el cultivo, se evaluó la cobertura del suelo y la altura de las plantas, mientras que en la cosecha se analizó el rendimiento de papa (peso de tubérculo, número de tubérculos por planta, biomasa aérea). La incorporación al suelo de las leguminosas nativas contribuye al componente microbiano del suelo y duplica la producción de papa. Las condiciones de colonización de los terrenos en descanso por las leguminosas nativas y el componente microbiológico del suelo merecen mayor atención investigativa.

**Palabras claves:** Descanso del suelo, Leguminosas nativas, Microbiota del suelo, Papa, Altiplano boliviano.

## Abstract

In the Bolivian Altiplano, peasants manage for subsistence long fallow cropping systems in poor soils with climatic risks. Natural nitrogen fixation during fallowing may be a low cost solution to improve the yield of potato, which is head of rotation and basis of local diet. After ploughing this vegetation into soil, and in low fertility environments, soil microbiological component may play a key function in nitrogen cycling. During the agriculture cycle 1999-2000, in a five-years-fallowing plot, ploughed to crop potato, we have compared two natural vegetation covers, grass and native legumes (*Lupinus otto-buchtienii*, *Trifolium amabile*, *Astragalus micranthellus*). The article

compares the change of soil microbiota population between the ploughing, sowing and harvesting times of potato crop (*Solanum tuberosum* var. *gendarme*). The evaluated components of soil microbiota are firstly microbial biomass and NMP of total microbiota population, and secondly bacteria, fungi, actinomycetes, and mycorrhiza spores. During potato cultivation soil cover, plant height, and final production (tuber weight, number of tubers per plant, above-ground biomass) were evaluated. The incorporation of native legumes to soil contributes to the microbial soil component and duplicates the potato production. Both the spreading conditions of native legumes in fallow land, and soil microbiological component, should be more investigated.

**Keywords:** Fallow, Native legumes, Soil microbiota, Potato, Bolivian Altiplano.

## Introducción

La fertilidad del suelo es un tópico complejo en el que intervienen varios factores en interacción: elementos físicos y químicos, factores biológicos del suelo y limitantes climáticos. En el Altiplano central boliviano, la agricultura campesina valoriza un suelo pobre para su subsistencia, mediante un sistema de cultivo con descanso y sin uso de insumos. La recuperación de la fertilidad del suelo es una de las razones para que las parcelas agrícolas sean sometidas a largos periodos de descanso (Hervé *et al.* 1994, Hervé & Sivila 1997). Pestalozzi (2000) señaló el importante papel de la cobertura vegetal que logra colonizar el descanso en la recuperación de la fertilidad para el primer cultivo de la rotación que es la papa. La calidad de la materia verde incorporada influye en la velocidad de mineralización (Handayanto *et al.* 1997, Heal *et al.* 1997, Vanlauwe *et al.* 1997). Incorporando al suelo hojas de leguminosas, Reyes & Vargas (1999) incrementaron el valor de la biomasa microbiana.

La preocupación por una recuperación natural de la fertilidad en suelos cultivados ha dado lugar en el Altiplano boliviano a propuestas orientadas a incrementar la producción bajo una perspectiva agroecológica. La fijación biológica del nitrógeno (FBN) durante el descanso podría ser una manera de mejorar la calidad del material vegetal incorporado como abono verde o como subproducto agrícola. En cuanto a las leguminosas, el interés científico se ha

concentrado de manera general en una serie de experimentaciones sobre leguminosas cultivadas (Pijnenborg *et al.* 1996). Así Villarroel & Augstburger (1986) estudiaron la fijación de nitrógeno por el tarwi (*Lupinus mutabilis*) y su efecto residual en la cebada (*Hordeum vulgare*). Pérez (1996) midió el efecto de la incorporación de residuos de haba (*Vicia faba*) en el rendimiento del cultivo subsiguiente. Otros autores han experimentado el efecto de leguminosas forrajeras sobre el nitrógeno mineral del suelo y la respuesta del cultivo de papa: Neeteson (1989) con trébol rojo (*Trifolium pratense*) y alfalfa (*Medicago sativa*), Griffin & Hesterman (1991) y Honeycutt *et al.* (1995) con varias leguminosas forrajeras. No se tienen referencias similares de leguminosas nativas.

El aporte de nitrógeno al suelo por la incorporación de leguminosas depende, por una parte, de las interacciones entre el potencial de la leguminosa para fijar el N atmosférico, las características físico-químicas del suelo y las condiciones climáticas (Allen & Allen 1981, Medeiros 1985, MacColl 1989, Giller *et al.* 1994) y por otra parte de la calidad química de los residuos de leguminosas (Reyes & Vargas 1999). Reyes y Vargas concluyeron que las leguminosas con mayor contenido de lignina proveen de nutrientes a la biomasa microbiana a largo plazo. Toomsan *et al.* (1995) cuantificaron la contribución al nitrógeno del suelo por la incorporación de subproductos de cacahuete y soya.

El exudado radicular es considerado como una fuente de energía para la microbiota del

suelo y se conoce que las leguminosas estimulan positivamente la rizósfera. Así Cardoso *et al.* (1992) han encontrado un mayor número de bacterias en la rizósfera del trébol rojo que en la de gramíneas. Los conocimientos locales sobre este aspecto son mucho más reducidos en la zona andina.

Proponemos apreciar también esta disponibilidad adicional de nitrógeno a través de la determinación de la biomasa microbiana del suelo, considerada como un almacén potencial de nutrientes. Sarmiento (1995) relacionó fases de absorción del nitrógeno por el cultivo de papa con la evolución de la biomasa microbiana en terrenos en descanso. Sustentados en la hipótesis que los microorganismos del suelo llegan a constituir un reservorio lábil de elementos nutritivos que puede incrementarse con la incorporación de leguminosas al suelo, analizamos las variaciones que experimenta la microbiota del suelo y controlamos el efecto obtenido en la producción de papa. Para ello se compara, en la parcela de un campesino (Altiplano central boliviano), dos coberturas del suelo claramente diferenciadas: una con leguminosas nativas y otra con gramíneas. Presentamos sucesivamente los resultados del análisis microbiológico y de la producción de papa antes de proponer una interpretación.

## Metodología

### Área de estudio

Este estudio de caso se realizó en la parcela de un agricultor de la comunidad de Patarani (provincia Aroma del departamento de La Paz, Bolivia), el sitio en Bolivia del programa europeo Tropandes (INCO DC N° IC18-CT98-0263). Se ubica a 3.800 m, al lado de la estación experimental de Patacamaya (17° 15'S, 67° 55'W), en una puna semiárida del Altiplano central boliviano.

La precipitación promedio anual en Patacamaya es de 403 mm, 80% cae entre

noviembre y abril (Vacher 1998). Durante el periodo de crecimiento del cultivo (diciembre a marzo), las precipitaciones son de 285 mm (89-485 mm) y las heladas frecuentes dejan solamente una probabilidad del 20% de obtener una época de 120 días sin temperatura debajo de 2°C (Le Tacon *et al.* 1992). La frecuencia de heladas es casi diaria en la época seca. La figura 1 presenta las precipitaciones diarias desde abril hasta octubre 99 (época seca), tomando en cuenta que los meses de junio y julio no tuvieron precipitación. La figura 2 presenta las precipitaciones diarias desde noviembre 1999 hasta marzo 2000, que fueron casi continuas entre el 30/12/99 y el 27/03/00. El mes de abril 2000 no tuvo precipitaciones y el mes de mayo registró solamente 12 mm el 8/05/00.

Las últimas heladas después de la siembra ocurrieron entre el 1 y el 5 de diciembre 1999 (hasta -5°C) y el 18/12 (-2°C). La ocurrencia de heladas dentro del ciclo de cultivo se indica con flechas en la figura 2; la distribución de las precipitaciones ha minimizado este daño. Las heladas interrumpieron el ciclo al principio del mes de abril, de -1°C a -2°C entre el 2-4/04/00 y menos de -2°C a partir del 16/04/00. Las leguminosas nativas se han adaptado a estas condiciones climáticas, que son adversas para leguminosas cultivadas como el tarwi o las habas. La época del periodo vegetativo, con lluvias y entre heladas, está limitada a menos de cuatro meses (entre el 19 de diciembre y fines de marzo).

### Características de la parcela en estudio

La parcela estudiada de cinco años de descanso tiene una textura franco-arenosa a 0-20 cm: arena 65.1%, limo 24.4% y arcilla 10.5%. Las dos subparcelas que guardaremos como tratamientos son colindantes, miden aproximadamente 150 m<sup>2</sup> cada una, presentan la misma historia cultural, pero una vegetación claramente diferenciada (S. Beck 1999, com. pers., según observación del 24/03/99):

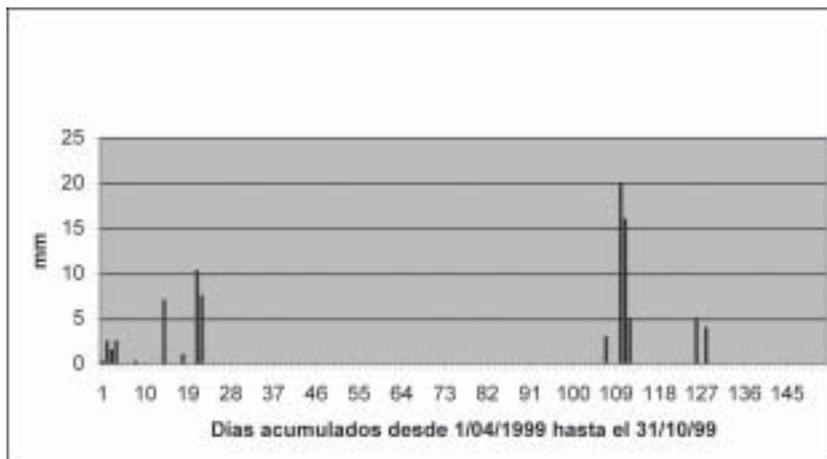


Fig. 1: Precipitaciones diarias entre roturación y siembra (Patacamaya).

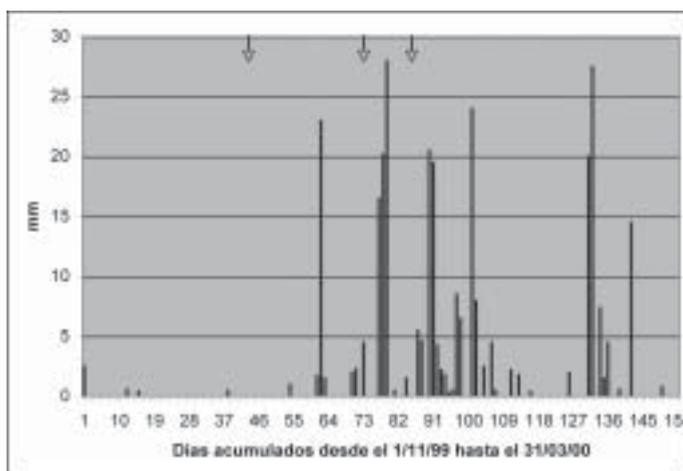


Fig. 2: Precipitaciones diarias, ciclo 1999-2000 (Patacamaya).

- La subparcela denominada L presenta entre herbáceas típicas del descanso (*Oxalis bisfracta*, *Cardionema ramosissima*, *Schkuhria multiflora*) un alto porcentaje de leguminosas nativas (20% de *Lupinus otto-buchtienii*, 10% de *Trifolium amabile* y 3% de *Astragalus micranthellus*);
- La subparcela denominada S carece de leguminosas; presenta 30% de cobertura del suelo con gramíneas (*Nassella pubiflora*,

*Chondrosium simplex*, *Aristida asplundii*) y una herbácea (*Oxalis bisfracta*).

Esta diferencia de vegetación se debe a una mayor profundidad del suelo en la parte colonizada por las raíces de las leguminosas nativas (Mita 2006). Las leguminosas nativas encontradas son conocidas en Bolivia:

*Trifolium amabile* (Alemán 1996a), *Lupinus otto-buchtienii* (Alemán 1996b) y *Astragalus* cf. *micranthellus* (Atahuachi & Arrázola 1996).

Ambas coberturas vegetales fueron incorporadas al suelo por una roturación con arado de discos realizada entre el 24/03/99 y el 19/04/99 a una profundidad de 26 cm (promedio de profundidad medido en el corte de suelo dejado por la maquinaria). El terreno quedó así abierto durante siete meses hasta la siembra de papa (4 de noviembre de 1999). Estos meses son secos y fríos (con una temperatura mínima bajo 0°C), pero el suelo no pierde humedad en profundidad por un efecto de *self-mulching* observado por Orsag (1991) y Vacher *et al.* (1994). La cosecha de papa tuvo lugar el 1 de mayo de 2000.

### Diseño

Tratándose de un estudio de caso y acompañando el calendario agrícola de la comunidad campesina, se aplicó una encuesta agronómica a una parcela campesina controlada con el siguiente diseño de colecta de datos: dos tratamientos (L y S) de la vegetación precedente al cultivo de papa y tres repeticiones por tratamiento, con 20 plantas de papa en cada repetición. El manejo de las dos subparcelas L y S fue idéntico. El agricultor sembró su parcela el 4/11/99, incorporando en la siembra 3 t/ha de estiércol de ovino, con la variedad de papa *gendarme* (peso promedio de 65.5 g por tubérculo), a una profundidad promedio de 16 cm y una densidad de siembra de 2 t/ha. Con surcos distantes de 70 cm y una distancia entre tubérculos-semilla de 40 cm, se obtuvo una densidad de 35.714 plantas/ha (Tabla 1). Las diferencias de área y pesos entre

las subparcelas fueron controladas al realizar la siembra el mismo agricultor (Tabla 1).

### Observación del cultivo

Durante el cultivo de papa se evaluó la cobertura del suelo por follaje en 20 plantas por repetición mediante un cobertor metálico con subdivisiones de 5 x 5 cm y 1 m de altura. Las lecturas toman en cuenta los cuadrantes que tienen más del 50% de follaje. Se evaluó también la altura de las mismas 20 plantas una vez que la brotación de la papa fue generalizada. En la cosecha, se sacaron tres surcos de 20 plantas en cada repetición, midiendo la biomasa aérea, el número de tubérculos por planta y el peso de tubérculos. Posteriormente se determinó la materia seca tanto del tubérculo como de las hojas y tallos y el contenido de nitrógeno del tubérculo.

### Análisis microbiano

Para analizar la dinámica de la microbiota del suelo durante el cultivo de papa, se obtuvieron muestras compuestas de suelo en cada subparcela en estudio hasta 20 cm de profundidad, en tres etapas del cultivo: después de la roturación (19/04/99), en la siembra pero antes de la incorporación del estiércol de ovino (4/11/99) y en la cosecha de papa (1/05/2000). Se determinó en ambas subparcelas la población microbiana total (PT), la biomasa microbiana del suelo (N-BMS), la estructura de la microbiota compuesta por bacterias (B), hongos (H), actinomicetos (Act) y las micorrizas arbusculares (MA).

**Tabla 1: Características de la siembra de papa en las parcelas con y sin leguminosas nativas.**

Tratamiento	Superficie (m <sup>2</sup> )	Estiércol (t/ha)	Densidad de siembra (t/ha)	Profundidad (cm)
Con leguminosas	144.3	3.465(63 kg N)	1.975	15.75
Sin leguminosas	159.6	3.026(55 kg N)	2.068	16.75

Para la biomasa microbiana, el muestreo fue realizado en tres sectores (a, b, c) de cada subparcela. De cada sector se tomó cinco submuestras de suelo hasta 20 cm de profundidad, de aproximadamente 250 g cada una, para formar una muestra única de 1-1.5 kg. Las muestras compuestas de suelo se llevaron al laboratorio en una bolsa estéril, evitando el recalentamiento y la desecación. Las muestras se procesaron en el mismo día, luego de tamizarlas a 2 mm y homogeneizarlas. Se tomaron submuestras para determinar el contenido de humedad.

El método químico de fumigación-extracción se usó para determinar la biomasa microbiana (BMS) de acuerdo a Brooks *et al.* (1985), adaptado por Acevedo (1994) y detallado en Sivila & Angulo (en este número). El valor del nitrógeno de la biomasa microbiana es la diferencia entre el nitrógeno determinado en la muestra fumigada y el nitrógeno de la muestra sin fumigar.

En la determinación de la población total microbiana (PT), se utilizó medios líquidos incubados a 28°C por 15 días, estimando su valor por el método del número más probable (NMP) (De Man 1983). Los medios utilizados para el cultivo de esta microbiota fueron descritos por varios autores (Díaz-Raviña *et al.* 1993, Vázquez *et al.* 1993, Sivila 1994, Acea & Carballas 1996). El índice del NMP de la población total (PT) no es muy utilizado en análisis de suelo como lo es el recuento de bacterias, hongos y actinomicetos (Cattelan & Vidor 1990a, b).

La valoración de esporas de hongos formadores de micorrizas arbusculares (MA) se realizó con la metodología de decantación y tamizado. Una muestra de 100 g de suelo se suspende en 1.000 ml de agua, se agita y luego se tamiza el sobrenadante en una serie de tamices (0.71 mm, 0.205 mm, 0.105 mm, 0.053 mm). Esta operación se repite varias veces y las fracciones colectadas se observan al estereoscopio para su valoración en la placa de Doncaster (Sieverding 1983).

Para la determinación de los tres componentes clásicos de la microbiota del suelo, bacterias, hongos y actinomicetos, se utilizó el método del recuento en placa. Con 10 g de la muestra tamizada se realizaron diluciones entre  $10^{-1}$  y  $10^{-9}$  en agua estéril. Se sembró en medios sólidos específicos para cada grupo: los hongos (H), bacterias (B) y actinomicetos (A) y se hizo el recuento de las colonias hasta 5 a 7 días después de incubar a 28°C. Los resultados se expresan en unidades formadoras de colonias (UFC/gramo de suelo seco).

## Resultados

El contenido de C y N del suelo es diferente entre ambas subparcelas antes de ser roturadas (Tabla 2). El suelo de la subparcela con leguminosas nativas (L) tiene 1.8 veces más carbono y 1.6 veces más nitrógeno que el suelo de la subparcela sin leguminosas (S). En consecuencia, puede esperarse que la subparcela (L) tenga un comportamiento diferente a lo largo del cultivo de papa.

### Comparación de la microbiota del suelo entre ambos tratamientos

La microbiota del suelo se ha valorado con los diferentes métodos descritos anteriormente: 1) la valoración de la biomasa microbiana (BMS) es un método propiamente químico, considerado en los últimos años como más sensible para estudios de la microbiota del suelo; 2) el análisis del NMP de la población total microbiana (PT) es un método microbiológico estandarizado; 3) el recuento de colonias de bacterias, hongos y actinomicetos (B, H, A) permite apreciar la cantidad y la diversidad sin llegar a la identificación de las especies; 4) el recuento directo de esporas de micorrizas arbusculares (MA) ha demostrado ser un indicador interesante en los terrenos agrícolas en descanso (Sivila & Hervé 1994). La tabla 3 sintetiza los valores de la microbiota del suelo en las tres épocas: después de la

**Tabla 2: Estado del suelo antes de la roturación en ambos tratamientos. Análisis realizado por Acea J.M. en IIAG (CSIC, España).**

Tipo de análisis	Subparcela con leguminosas (L)	Subparcela sin leguminosas (S)
pH	6.9 +- 0.1	6.9 +- 0.1
C %	0.47 +- 0.1	0.26 +- 0.04
N %	0.064 +-0.007	0.039 +- 0.003

roturación, en la siembra y en la cosecha de papa.

Los valores de la microbiota en la parcela L son superiores frente a la parcela S. En la siembra de papa, después de siete meses de haber incorporado el material vegetal al suelo, los resultados de BMS y PT son más altos en la subparcela L. Entre roturación y siembra, la BMS se incrementa del doble en ambos tratamientos y la PT se incrementa por un factor 10 en el tratamiento con leguminosas y un factor 3 sin leguminosas. Entre siembra y cosecha, la BMS sigue creciendo y la PT cae drásticamente, llegando cerca de su valor inicial. Al final del cultivo de papa, en la época de cosecha, se tiene un valor de la BMS menor en la subparcela L, pero un valor de PT diez veces mayor que en la S.

La tabla 3 presenta los valores promedio de recuento en placa de los tres componentes clásicos de la microbiota del suelo: bacterias (B), hongos (H) y actinomicetos (A) para las tres épocas analizadas. Las poblaciones de bacterias y hongos suben entre la roturación, la siembra y la cosecha, siendo las cantidades en la subparcela L superiores a las cantidades en la S, en cada fecha. El caso de los actinomicetos (A) difiere en que el aumento entre roturación y siembra es muy reducido y mucho mayor durante el cultivo de papa. El recuento de actinomicetos presenta valores oscilantes y sin tendencia definida, indicándonos probablemente un error en el recuento de este grupo.

La cantidad de esporas de micorrizas (MA) disminuye entre la roturación y la siembra por ausencia de especies huéspedes y vuelve a crecer entre la siembra y la cosecha de papa. La amplitud de variación es mayor en el tratamiento L, pero la cantidad medida al final es la misma.

### Evaluación del cultivo de papa

Durante el cultivo, se evaluó la altura de las plantas en dos fechas y la cobertura en tres fechas, con tres repeticiones. El 8 de enero, la brotación estaba escasa y muy irregular en la parcela sin leguminosas y más avanzada, pero también irregular en la parcela con leguminosas. Esta situación hizo inútil la medición de la altura de plantas en esta fecha. Es la razón por la cual tenemos dos fechas de medición de la altura de plantas, pero tres fechas de medición de la cobertura del suelo por el follaje. Con la tabla 4 se puede interpretar el crecimiento del cultivo en ambos tratamientos.

La cobertura del suelo es muy baja y excesivamente variable en la parcela S. Se debe a un brote incompleto y entonces más tardío que en la parcela L. Pero las diferencias de cobertura entre ambos tratamientos se reducen durante el cultivo (tabla 4): a los 65 días de la siembra la relación es de 1-2.6 y luego, a los 97 y 135 días, esta relación disminuye a una proporción de 1-1.3. La cobertura lograda en la tercera evaluación es mayor y menos variable

**Tabla 3: Biomasa y población microbiana del suelo en tres épocas: roturación, siembra y cosecha. \* Poblaciones microbianas expresadas en UFC/g suelo seco.**

Tratamientos	BMS mgN/kg suelo	MA Nº esp. / g suelo	PT *10 <sup>7</sup>	B *10 <sup>6</sup>	H *10 <sup>4</sup>	Act *10 <sup>5</sup>	Humedad 0-20 cm %
<b>L Con leguminosas</b>							
Roturación	3.9	9.5	25	4.9	2	0.4	2.9
Siembra	9	2.08	310	11	3.2	60.2	5.1
Cosecha	12.9	10.9	31	13	6.4	26	3.8
<b>S Sin Leguminosas</b>							
Roturación	2.9	8.4	4.5	3.8	1.1	1.6	5.6
Siembra	5.9	6.9	16.6	3.3	3.2	1.1	6.5
Cosecha	15.1	10.9	2.8	10.7	5.6	12	2.7

**Tabla 4: Valores promedio de altura y cobertura de plantas en el cultivo de papa en ambos tratamientos (el coeficiente de variación va entre paréntesis).**

Fechas de control	Tratamiento con leguminosas L	Tratamiento sin leguminosas S
Días desde la siembra	Altura (cm)	Altura (cm)
9/2/00	38.1 (10.3%)	36.7 (9.7%)
8/3/00	42.6 (20.5%)	38.1 (10.3%)
	Cobertura (cm <sup>2</sup> )	Cobertura (cm <sup>2</sup> )
65 días 8/01/2000	140 (36%)	53 (94%)
97 días 9/02/2000	745 (16.7%)	563 (20%)
135 días 18/03/2000	1158 (21.2%)	918 (29%)

en la subparcela L. Con una distancia entre plantas de 40 cm, la cobertura máxima de una planta de papa, hasta que se toquen los follajes de dos plantas vecinas, es de 1256 cm<sup>2</sup>. Se puede considerar entonces que la cobertura máxima del suelo fue lograda a fines de marzo en el tratamiento con leguminosas.

El mayor crecimiento en altura ocurrió tarde, principalmente desde enero, después que el brote esté generalizado. Comparando las alturas entre las dos fechas de observación, aparece que se estará llegando a una altura

máxima en marzo, al mismo tiempo que se logra una cobertura casi continua entre plantas. En todo caso, la diferencia de altura de plantas entre ambos tratamientos es reducida y el coeficiente de variación más elevado cuando la altura es mayor. El crecimiento durante las fases de emergencia e instalación del follaje ha podido variar por la movilización de una cantidad desigual de nutrientes.

El mayor crecimiento inicial de la papa en el tratamiento con leguminosas se traduce por una tuberización más precoz y un mayor

número de tubérculos por planta en la cosecha (Tabla 5). Las diferencias del crecimiento foliar observadas en la tabla 4 se traducen en la cosecha por una biomasa aérea cuatro veces más importante, una materia seca de tubérculos tres veces más alta y finalmente un rendimiento y un índice de cosecha dobles para el tratamiento L. El precedente con leguminosas nativas no aumenta significativamente el contenido en nitrógeno del tubérculo.

### Discusión

El contenido en C y N de la parcela L antes de la roturación es un indicador de la capacidad de las leguminosas nativas para fijar el N atmosférico y enriquecer el suelo. Se observa entre la roturación y la siembra que la incorporación al suelo de la vegetación nativa desarrollada durante el descanso ha aumentado la población microbiana total del suelo (PT) en ambas parcelas, en mayor proporción en la parcela con leguminosas. La biomasa microbiana (BMS) crece desde la roturación hasta la siembra y luego desde la siembra hacia la cosecha. El crecimiento observado es mayor en la subparcela con leguminosas que en la que presentaba gramíneas.

Los datos de la cosecha (tabla 3) indican por una parte que la biomasa microbiana continúa

formándose más allá de los siete meses sin vegetación (abril a noviembre) y para los cultivos subsiguientes. Por otra parte, la disminución de la PT se traduce por una mortalidad de microorganismos que probablemente contribuyen a la reserva de nutrientes del suelo.

En cuanto a la valoración de bacterias (B) y hongos (H), la diferencia en cada época entre ambos tratamientos - L y S - es mayor para bacterias que para hongos. Cattelan & Vidor (1990a, b) establecen que los microorganismos son estimulados por exudados y tejidos radiculares de las leguminosas, siendo más claro el efecto para bacterias que para hongos.

La disminución del número de esporas de MA entre la roturación y la siembra puede atribuirse a la ausencia de vegetación hospedera de estos hongos simbióticos y a las condiciones desfavorables durante los siete meses secos y fríos.

El control del crecimiento y de la producción de papa tiene la finalidad de verificar el efecto en la elaboración del rendimiento de papa de las diferencias constatadas entre ambos tratamientos. Las diferencias se notan desde el inicio del posible periodo de crecimiento (definido por la época libre de heladas) y le siguen durante todo el cultivo. Esto dejaría entender que la liberación de nutrientes también

**Tabla 5: Rendimiento de la producción de papa en ambas parcelas del estudio. Leyenda: \*IC = peso tubérculos cosechados/peso tubérculos semilla; \*\*Análisis realizado en el Laboratorio de Calidad Ambiental (LCA), Instituto de Ecología en La Paz.**

Variables evaluadas en la cosecha	Con leguminosas L	Sin leguminosas S
Rendimiento (MV) (t.ha <sup>-1</sup> )	20.86	9.89
Índice de cosecha*	10.6	4.8
Materia seca tubérculo (t.ha <sup>-1</sup> )	5.9	2.1
Materia seca aérea (t.ha <sup>-1</sup> )	1.18	0.32
Nº tubérculos/planta	18.7	13.7
N en el tubérculo (mgN kg <sup>-1</sup> )**	0.63	0.6

es continua y siempre desigual, favoreciendo al tratamiento L.

Entre la siembra y la cosecha, sigue creciendo la biomasa microbiana del suelo, que se puede relacionar con su función de reservorio de nutrientes potencialmente disponible para el siguiente cultivo (Smith & Paul 1990, García & Morón 1992). Solamente un análisis dinámico permitiría comprobar a lo largo del desarrollo del cultivo y de la sucesión de cultivos la sincronización entre oferta y demanda de nitrógeno. Además, no conocemos el ritmo de liberación de nutrientes por la biomasa microbiana.

### Conclusiones y recomendaciones

De los resultados obtenidos y por las interpretaciones efectuadas, se llegan a las siguientes conclusiones:

1. La incorporación al suelo de la vegetación colonizadora del descanso por la roturación del suelo favorece a la microbiota del suelo.
2. Las leguminosas nativas *Lupinus otto - buchtienii*, *Trifolium amabile* y *Astragalus micranthellus* que colonizaron a cabo de cinco años una parcela de descanso, al ser incorporadas al suelo por la roturación, hacen una contribución mayor que las gramíneas al componente microbiano de la fertilidad del suelo.
3. El incremento del rendimiento de papa en las parcelas con incorporación de leguminosas nativas es muy importante, en comparación a las expectativas de aumento de la producción conocidas en las condiciones del Altiplano boliviano.
4. Este análisis microbiológico preliminar abre muchas perspectivas sobre la relación entre la microbiota del suelo y la liberación de nutrientes para el cultivo, cuyo efecto se puede apreciar con un diagnóstico de la elaboración del rendimiento. Su estudio

aplicado a las leguminosas nativas del descanso es una manera original de combinar la dinámica del nitrógeno en el suelo durante el descanso y durante el primer año de cultivo.

5. Para profundizar este análisis, se recomienda inventariar las leguminosas nativas aptas para colonizar los terrenos en descanso y estudiar sus condiciones de instalación en terrenos con relativamente pocos años de descanso.
6. La siembra de leguminosas nativas, luego de una recolección adecuada de semilla, puede ser una práctica a difundir en la agricultura con descansos largos con la finalidad de acortar la duración del descanso. Se recomienda cosechar semillas, estudiar su poder germinativo y sembrar en zanjas filtrantes estas leguminosas nativas, previamente al cultivo de papa.

### Agradecimientos

Este estudio fue financiado por la Comunidad Europea dentro del proyecto Tropandes (INCO-DC IC18CT98-0263). Los autores agradecen al Sr. Ignacio Patzi, dueño de la parcela estudiada en la comunidad de Patarani, al Dr. Stephan Beck por sus determinaciones botánicas y al Msc. Victor Mita por su colaboración en los muestreos y seguimiento del cultivo.

### Referencias

- Acea, M.J. & T. Carballas. 1996. Changes in physiological groups of microorganism in soil following wildfire. *FEMS Microbiology Ecology* 20: 33-39.
- Acevedo, D. 1994. Metodología para la determinación del nitrógeno en materiales ecológicos. Universidad de los Andes. Centro de Investigaciones Ecológicas de los Andes Tropicales, Mérida. 26 p.
- Alemán, F. 1996a. Layu-layo (*Trifolium amabile* H.B.K.). Otras leguminosas forrajeras de la zona andina. Pp. 347-350. En: Meneses,

- R., H. Waaijenberg & L. Piérola (eds.). Las Leguminosas en la Agricultura Boliviana: Revisión de Información. Proyecto Rhizobiología Bolivia, Cochabamba.
- Alemán, F. 1996b. Otras leguminosas forrajeras de la zona andina. Pp. 365-370. En: Meneses, R., H. Waaijenberg & L. Piérola (eds.). Las Leguminosas en la Agricultura Boliviana. Proyecto Rhizobiología Bolivia, Cochabamba.
- Allen, O.N. & E.K. Allen. 1981. The leguminosae – A source book of characteristics, uses and nodulation. The University of Wisconsin Press, Wisconsin. 812 p.
- Atahuachi, M. & S. Arrázola. 1996. Catálogo de leguminosas nativas en Cochabamba. Pp. 409-423. En: Meneses, R., H. Waaijenberg & L. Piérola (eds.). Las Leguminosas en la Agricultura Boliviana. Proyecto Rhizobiología Bolivia, Cochabamba.
- Brooks, P.C., A. Ladman, G. Prudent & D.S. Jenkinson. 1985. Chloroform fumigation and the release of soil nitrogen: a rapid direct extraction method to measure microbial biomass nitrogen in soil. Soil Biol. Biochem. 17: 837-842.
- Cardoso, E.J., S.M. Tsai & M.C. Neves. 1992. Microbiología do solo. Sociedad Brasileira de la Ciencia do Solo, Campinas. 360 p.
- Cattelan, A.J. & C. Vidor. 1990a. Sistemas de culturas e a população microbiana do solo. R. Bras. Ci. Solo. Campinas 14: 125-132.
- Cattelan, A.J. & C. Vidor. 1990b. Fluctuações na biomassa, atividade e população microbiana do solo, em função de variações ambientais. R. Bras. Ci. Solo. Campinas 14: 133-142.
- De Man, J.C. 1983. MNP tables, corrected. Eur. J. Appl. Microbiol. Biotechnol. 17: 301-305.
- Díaz-Raviña, M., M.J. Acea & T. Carballas. 1993. Seasonal fluctuations in microbial populations and available nutrients in forest soils. Biol. Fertil. Soils 16: 205-210.
- FAO, 1985. Manual técnico de la fijación simbiótica del nitrógeno. ONU-FAO, Roma. 155 p.
- García, M. & A. Moron. 1992. Estudios de C, N y P en la biomasa microbiana del suelo en tres sistemas de rotación agrícola. Rev. INIA Inv. Agr. 1 (1): 111-126.
- Giller, K.E., J. F. McDonagh & G. Cadisch. 1994. Can biological nitrogen fixation sustain agriculture in the tropics? Pp. 167-174. En: Syers J.K. & Rimmer D.L. (eds.). Soil Science and Sustainable Land Management in the Tropics. University of Newcastle, Cambridge University Press, Cambridge.
- Griffin, T.S. & O.B. Hesterman. 1991. Potato response to legume and fertilizer nitrogen sources. Agronomy Journal 83(6): 1004-1012.
- Handayanto, E., G. Cadish & K.E. Giller. 1997. Regulating N-mineralization from plant residues by manipulation of quality. Pp. 175-185. En: Cadish, G. & K.E. Giller (eds.). Driven By Nature: Plant Litter Quality and Decomposition. C.A.B. International, Cambridge University Press, Cambridge.
- Heal, O.W., J.M. Anderson & M.J. Swift. 1997. Plant litter quality and decomposition: an historical overview. Pp. 3-30. En: Cadisch, G. & K.E. Giller (eds.). Driven By Nature: Plant Litter Quality and Decomposition, C.A.B. International, Cambridge University Press, Cambridge.
- Hervé, D., D. Genin & G. Riviére. 1994. Dinámicas del descanso de la tierra en los Andes. ORSTOM-IBTA, La Paz. 356 p.
- Hervé, D. & R. Sivila. 1997. Efecto de la duración del descanso sobre la capacidad de producir en las tierras altas de Bolivia. Pp. 189-199. En: Liberman, M., Baied, C. (eds.). Desarrollo Sostenible en Ecosistemas de Montaña: Manejo de Áreas Frágiles en los Andes. Universidad de las Naciones Unidas, La Paz.

- Honeycutt, C.W., W.M. Clapham & S.S. Leach. 1995. Influence of crop rotation on selected chemical and physical properties in potato cropping systems. *American Potato Journal* 72 (12): 721-735.
- Le Tacon, Ph., J.J. Vacher & E. Imaña. 1992. Los riesgos de heladas en el Altiplano boliviano. Pp. 287-291. En: Morales D., J.J. Vacher (eds.). *Actas del VII Congreso internacional sobre cultivos andinos*. IBTA-CIID, La Paz.
- MacColl, D. 1989. Studies on maize (*Zea mays*) at Bunda, Malawi. II Yield in Short Rotation with Legumes. *Expl. Agric.* 25: 367-374.
- Medeiros, J.C. 1985. Sistemas de culturas adaptadas a productividad, recuperação e conservação do solo. Tesis de grado, Faculdade de Agronomia, UFRCS, Porto Alegre.
- Mita, V. 2006. Calibración de un modelo de simulación en sistemas de cultivo con descanso largo en el altiplano boliviano. Tesis Msc. Agronomía UNALM, Lima. 84 p.
- Neeteson, J.J. 1989. Effect of legumes on soil mineral nitrogen and response of potatoes to nitrogen fertilizer. En: Vos, J. C.D. Van Loon, G.J. Bollen (eds.). *Effects of Crop Rotation on Potato Production in the Temperate Zones*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht. *Developments in Plant and Soil Sciences* 40: 89-93.
- Orsag, V. 1991. Perspectivas del manejo de suelos en el Altiplano central como alternativa para mejorar su régimen hídrico. Pp. 303-310. En: D. Morales & J.J. Vacher (eds.). *Actas del VII Congreso Internacional de Cultivos Andinos*, La Paz.
- Pérez, C. 1996. Leguminosas en sistemas de cultivo de la zona andina. Pp. 97-122. En: R. Meneses, H. Waaijenberg, L. Piérola (eds.). *Las Leguminosas en la Agricultura Boliviana, Proyecto Rhizobiología Bolivia, Cochabamba*.
- Pestalozzi, H. 2000. Sectoral fallow systems and management of soil fertility: the rationality of indigenous knowledge in the high Andes of Bolivia. *Mountain research and development* 20 (3): 64-71.
- Pijnenborg, J., V. Oller, J. Jiménez & R. Barba. 1996. Fijación biológica de nitrógeno (FBN). Pp. 67-96. En: Meneses, R., H. Waaijenberg, L. Piérola (Eds.). *Las Leguminosas en la Agricultura Boliviana, Proyecto Rhizobiología Bolivia, Cochabamba*.
- Reyes, R. G. & S.E. Vargas 1999. Leguminosas: calidad, mineralización y efecto sobre la biomasa microbiana del suelo. *Ciencia Ergo Sum.* 5 (3): 305-311.
- Sarmiento, L. 1995. Restauration de la fertilité dans un système agricole à jachère longue des hautes Andes du Vénézuéla. Ph.D. dissertation. Université de Paris – Sud, Paris. 237 p.
- Sieverding, E. 1983. Manual de métodos para la investigación de micorrizas V.A. en el laboratorio. CIAT, Cali. 121 p.
- 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. & D. Hervé. 1994. El estado microbiológico del suelo, indicador de la restauración de la fertilidad. Pp. 185-197. En: Hervé, D., D. Genin & G. Rivière (eds.). *Dinámicas del Descanso de la Tierra de los Andes*, IBTA-ORSTOM, La Paz.
- Smith, L. J. & E. A. Paul. 1990. The significance of soil microbial biomass estimations. P. 357-396. En: Bollag, J.M. & G. Stotzky (eds.). *Soil Biochemistry* 6. Marcel Dekker, Nueva York.
- Toomsan, B., J.F. McDonagh, V. Limpinuritana & K.E. Giller. 1995. Nitrogen fixation by groundnut and soybean and residual nitrogen benefits to rice in farmers' field

- in Northeast Thailand. *Plant and Soil* 175: 45-46.
- Vacher, J.J., 1998. Responses of two main Andean crops, quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) and papa amarga (*Solanum juzepczukii* Buk.) to drought on the Bolivian Altiplano: Significance of local adaptation. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 68: 99-108.
- Vacher, J.J., I. Brugioni & Th. Fellman. 1994. Evolución del balance hídrico invernal en diferentes parcelas de descanso en el Altiplano boliviano. Pp. 141-153. En: Hervé, D., D. Genin, G. Rivière (Eds.). *Dinámica del Descanso en los Andes*. ORSTOM-IBTA, La Paz.
- Vanlauwe, B., J. Diels, N. Sanginga & R. Merckx. 1997. Residue quality and decomposition: an unsteady relationship. Pp. 157-166. En: Cadisch, G. & K.E. Giller (eds.). *Driven by Nature: Plant Litter Quality and Decomposition*. C.A.B. International, Cambridge University Press, Cambridge.
- Vázquez, F., M.J. Acea & T. Carballas. 1993. Soil microbial populations after wildfire. *FEMS Microbiology Ecology* 13: 93-104.
- Villaroel, J. & F. Augstburger. 1986. El tarhui (*Lupinus mutabilis* Sweet), fijación y aporte de nitrógeno al suelo y su efecto residual en cebada (*Hordeum vulgare*). V Congreso Internacional de Agricultura Andina, Puno. 20 p.