

EFFECTO DE LA DURACION DEL DESCANSO SOBRE LA CAPACIDAD DE PRODUCIR EN LAS TIERRAS ALTAS DE BOLIVIA

Dominique HERVE* y Ruth SIVILA DE CARY**

*ORSTOM, La Paz, Bolivia

**Instituto de Ecología, La Paz, Bolivia

Introducción

Cuando todo el territorio cultivable ya está cultivado y no queda ninguna extensión de tierra en libre pastoreo, se supone que, a cualquier crecimiento demográfico, le corresponde una mayor explotación de las tierras disponibles, con posibilidades de degradación. Es la situación de muchas comunidades del altiplano central boliviano que, además de tener suelos pobres y superficiales, han reducido ya la duración del descanso de la tierra, al final de la sucesión de los cultivos.

Los sistemas de cultivo en secano con un largo descanso pastoreado son generalizados en Los Andes centrales. Se constatan diferentes vías de intensificación (Hervé, 1994a: 15-36), para las cuales faltan indicadores del estado del ecosistema. El estudio se realizó en una comunidad tradicional de ladera, con clima semiárido de altura: 3.800 m snm, 450 mm de precipitaciones anuales entre octubre y marzo y un promedio anual de 10°C con una fuerte amplitud diaria. En estas condiciones, se verificó que esta práctica de descanso no sirve como técnica de dry-farming (Brugioni, 1994: 141-153) y su permanencia no se explica por la necesidad de controlar malezas. Otras funciones del descanso han sido exploradas:

- la reducción del gorgojo de Los Andes, *Premnotrypes latithorax* (Hervé et al., 1994: 41) y del nematodo quiste de la papa, *Globodera*

productor agropastoril como una parte del ecosistema.

Justificación de la metodología empleada

Para aislar, en situaciones *in situ*, el efecto "duración del descanso" de las otras causas de variabilidad del suelo, se busca explorar todas las posibilidades de investigación *in situ* que nos ofrece la práctica campesina del descanso largo bajo una gestión colectiva (*aynuq'a* en aymara), cuyo funcionamiento ya está bastante conocido (Orlove & Godoy, 1986; Fonseca & Mayer, 1988; Orlove et al., 1992; Hervé, 1994a). Este sistema de *aynuq'a* permite localizar, en el territorio comunal, sectores de edad de descanso conocida y entonces comparar, en una misma fecha, situaciones variadas en cuanto a tiempo de descanso. La duración del descanso está fijada colectivamente a 10 años, en la comunidad estudiada, pero algunas parcelas no roturadas un año "saltan un ciclo" y ofrecen situaciones de estudio comprendidas entre 14 y más de 20 años de descanso.

En situaciones de alta montaña, los suelos superficiales y a menudo pedregosos dependen, para su formación, del substrato geológico y de la topografía del terreno. Hervé (1994b) localizó en Pumani los sectores de *aynuq'a* situados sobre los mismos substratos geológicos (Figura 1) y señaló el aumento de la pedregosidad con la pendiente. Dentro de los sectores, se identificaron tres áreas de topografía y de pedregosidad similares.

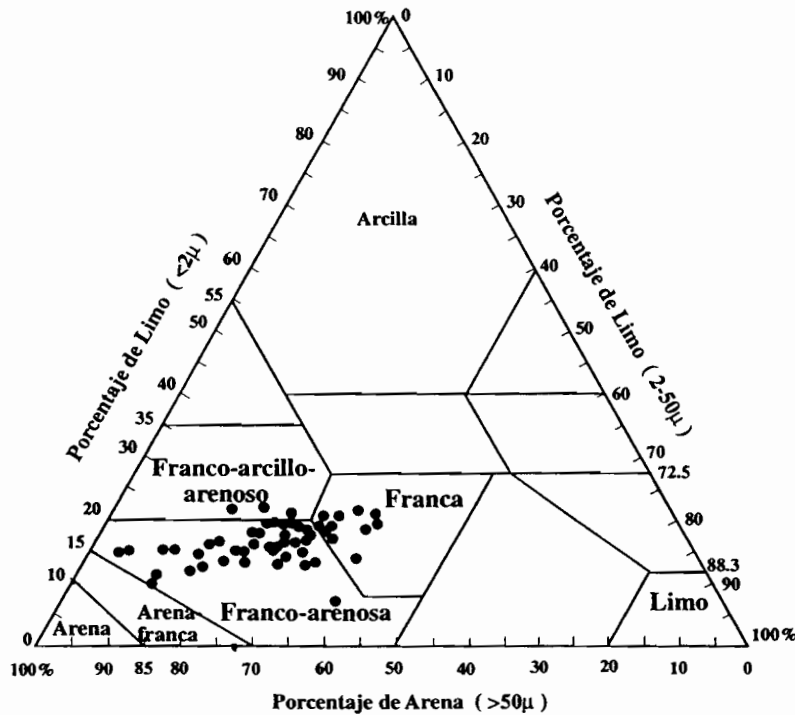


Figura 2: Triángulo de texturas - Muestreo 1992

Fueron extraídas muestras compuestas a la profundidad de 0-20 cm, mediante 10 barrenadas sacadas al azar en zig-zag entre julio y octubre de 1992 y entre junio y noviembre de 1993, entre cosecha y siembra en la época seca y fría. Se hicieron análisis discriminantes separando las fechas de muestreo agrupadas en épocas, cada año, y entre los dos años de colecta (1992 y 1993), para verificar que no tenían efecto sobre el contenido en N, C, P, ni sobre el pH del suelo. Todas las muestras fueron procesadas en los mismos laboratorios, exigiendo que puedan identificar sin error las clases texturales, y tengan una precisión inferior al 10% sobre las determinaciones químicas.

Se escogieron los elementos químicos (Tabla 1), identificados como variables de respuesta en otras evaluaciones de la fertilidad del suelo (Feller & Milleville, 1977; Moreau, 1984). La cantidad total de bases intercambiables traduce un estado instantáneo, en el punto del muestreo, muy dependiente de la historia cultural de la parcela (Blaize, 1988).

La evaluación microbiológica consistió en valorar grupos de microorganismos: bacterias totales, hongos, actinomicetos, mediante técnicas indirectas de siembra en medios selectivos, y esporas de micorrizas V.A., mediante el método de flotación y tamizado en húmedo (Sivila & Hervé, 1994).

Resultados y discusiones

Presentamos los resultados de los muestreos realizados en 1992 y 1993, en parcelas de edad de descanso conocida, y luego los muestreos de suelo realizados en

1993, en parejas de parcelas colindantes, que tienen una duración del descanso muy diferente.

Rangos de variación

Se cubrió en 1992 un mayor rango de texturas (Figura 2), limitándose en 1993 (Figura 3) a dos sectores: pampa de Tuntachawi (2 años de descanso) y Quthaña (9 años de descanso) (Figura 1) cuyas parcelas son todas de textura franco-arenosa. Constatamos en ambas figuras la estrechez del rango de variación de la arcilla (10-22%) y la concentración de las muestras en la frontera entre tres clases texturales. Se diferencia un grupo de muestras de textura franco-arenosa muy arenosa (>60% arena).

Las variabilidades de los valores, presentadas en la Tabla 1, merecen algunos comentarios.

La relación de C/N es baja, lo que caracteriza una materia orgánica humificada, con mineralización lenta. El fósforo asimilable (Olsen) y los cationes intercambiables son muy variables. Los valores máximos de Ca (más de 10 meq/100 gr) y de Mg (próximo a 4 meq/100 gr) se encuentran en algunas parcelas vecinas, de textura franca, las cuales tienen un pH comprendido entre 7 y 8.

A la vista de los coeficientes de variación, se tendrá que reducir la dispersión de las tasas de limo, del fósforo, del potasio y de los otros cationes, Ca, Mg, Na y, por consecuencia, de S, T, S/T, para comparar situaciones de distintas duraciones del descanso. En base a los gráficos, se eliminaron los valores extremos siguientes:

Tabla 1: Características de las variables en 79 parcelas de más de 1 año de descanso 1992-1993

Variable	Mínimo	Máximo	Promedio	C.V.
Arena%	41	79	59.86	15.9
Limo%	5	39	22.96	38
Arcilla%	8	24	17.16	17
pH agua	5.14	8.32	6.34	9.2
dpH=pHa-pHkcl	0.35	2.16	1.37	23.1
C orgánico ‰	3.29	11.48	6.58	25.3
N Kjeldahl ‰	0.5	1.64	0.89	23.6
C/N	4.34	9.43	7.4	15.7
P asimil. ppm	1.4	11.7	5.21	43.8
K interc. (meq/100 g)	0.34	2.92	0.84	41.8
Ca interc.	1.48	12.8	4.16	49.2
Mg interc.	0	3.92	1.58	40.6
Na interc.	0	2.17	0.19	197.0
S suma cationes	2.88	18.15	6.93	41.4
T cap.interc.cat.	1.5	25.6	9.79	44.5
S/T saturación	30.6	392.1	80.32	57.6

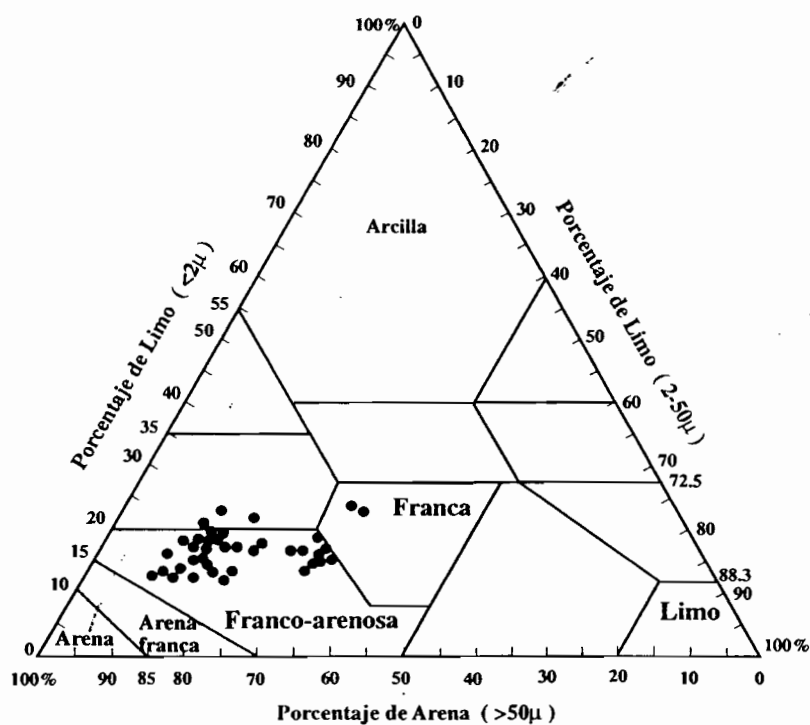


Figura 3: Triángulo de texturas - Muestreo 1993

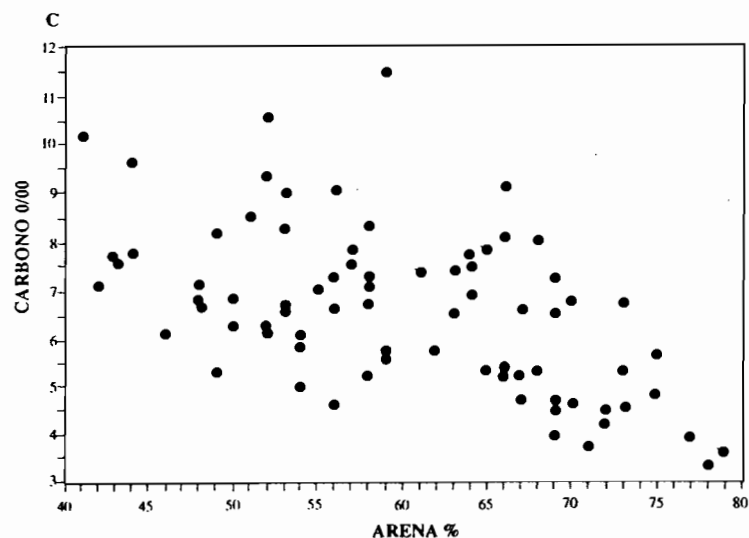


Figura 5: Relación carbono orgánico - arena

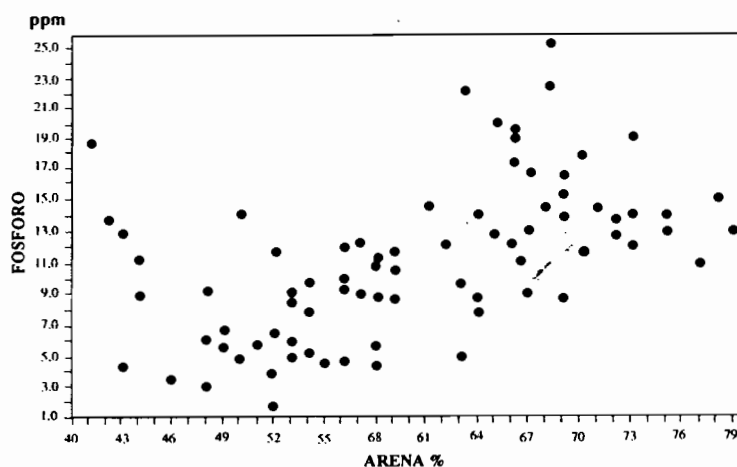


Figura 6: Relación fósforo asimilable - arena

Ca y S aumentarían ligeramente con la edad del descanso pero mantienen una relación con ARLF:
 $Ca = 2.0106 + 0.0822ARLF - 0.1502 C - 0.0182 EDAD$
 $(R^2 = 0.2026)$.

- Franco arenoso, con piedras
 El fósforo está relacionado negativamente con ARLF y, también negativamente, con la edad del descanso.

$P = 10.294 + 1.8691 C - 0.3447 ARLF - 0.3302 EDAD$,
 con probabilidades de 3.43 % para EDAD, 4.05% para C y 45.3% para ARLF ($R^2 = 0.3631$).

- Franco, pedregoso
 En esta textura aparecen las correlaciones más claras con la edad del descanso: $C \times edad = -0.582$, $N \times edad = -0.516$, $C/N \times edad = -0.496$. El C y el N decrecen con la edad, evolución contraria a la establecida en otras texturas. Todas las otras variables tienen una

correlación positiva con la edad del descanso:
 $dpH \times edad = 0.658$, $Ca \times edad = 0.661$, $S \times edad = 0.692$, $T \times edad = 0.688$
 dpH , Mg, Ca, S, T crecen con la edad del descanso.

Considerando los resultados, variados según las texturas, de la evolución del C, se ha elaborado la figura 9 que relaciona el contenido en carbono orgánico con el tenor en arcilla más limo fino según tres edades de descanso (2, 9 y 15 años). La acumulación de carbono es mínima en comparación de lo encontrado por Feller et al. (1993) en África del oeste. Las figuras 10 y 11 ilustran, según las texturas, las evoluciones del dpH y del calcio en función de la duración del descanso. La textura está apreciada por la tasa de arcilla más limo fino o en dos clases: franco-arenosa y franca. Se observa en las texturas francas una tendencia de crecimiento más nítido de dpH y del Ca con la edad del descanso.

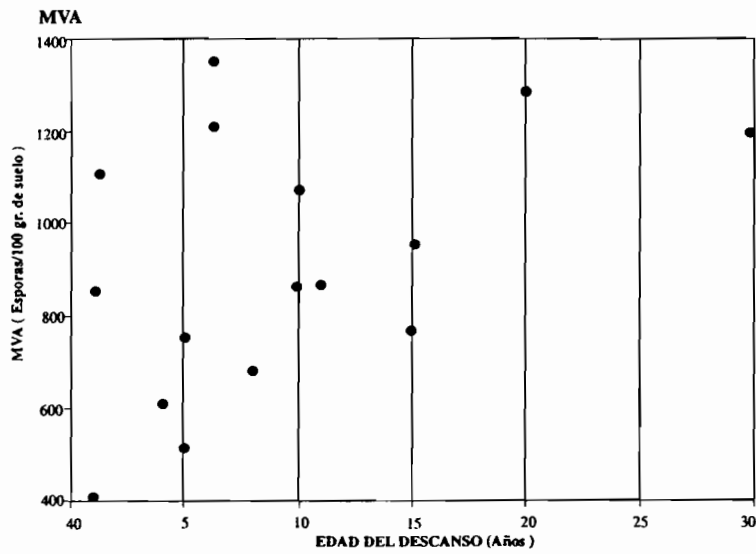


Figura 7: Relación entre esporas de micorrizas VA y edad del descanso

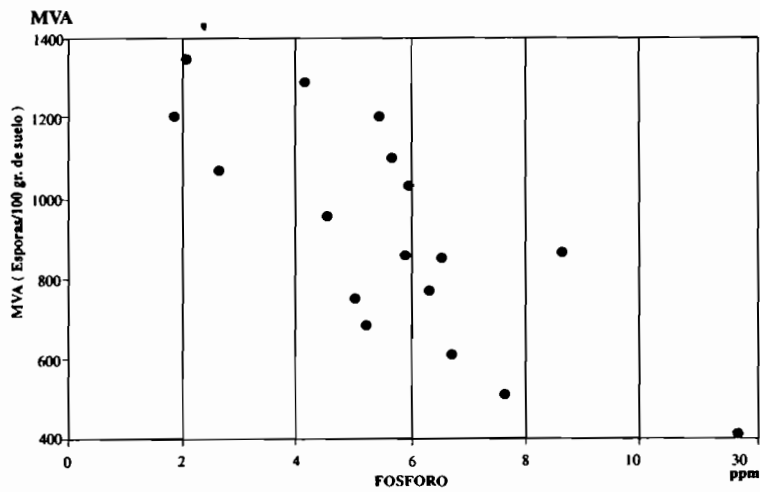


Figura 8: Relación esporas de micorrizas VA - Fósforo asimilable

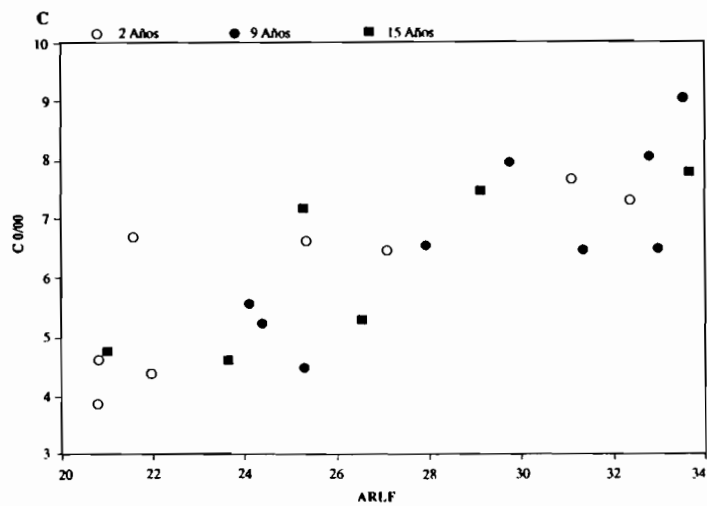


Figura 9: Relación entre C orgánico, arcilla más limo fino y edad del descanso

Tabla 2: Efecto de la topografía estimado por la diferencia entre dos situaciones

Q:Guthaña, T:Tuntachawi

1-2: Cumbre - Ladera

2-3: Ladera - Pampa

1-3: Cumbre - Pampa

(0.5): 0-5 cm

Sit. topo	pHa	dPH	C	N	C/N	P	K	Ca	Mg	Na	S	T
Q1-2	-0.75	0.19	-1.15	0	-1.21	*	-0.18	-1.10	0.5	0.24	-0.54	0.3
T1-2 (0-5)	-0.18	0.32	-6.69	-0.33	-2.85	-5	-0.65	-0.75	-0.35	0.02	-1.73	-1.76
T1-2 (5-20)	-0.19	0.20	-5.26	-0.54	-1.16	4	-0.28	-0.46	-0.13	0.10	-0.77	-1.46
Q2-3	1.2	0.92	1.14	0.09	0.65	16	0.18	0.69	-0.16	0	0.72	0.20
T2-3 (0-5)	-0.11	-0.01	1.56	0.09	1.07	-4	-0.11	1.66	0.37	0.02	1.94	0.73
T2-3 (5-20)	-0.78	-0.18	2.98	0.17	1.72	-3	-0.22	1.06	0.63	-0.01	1.45	2.97
Q1-3	0	0.05	0.01	-0.35	2.17	-11	-0.23	1.97	0.72	0.03	2.48	2.37

Parejas de parcelas

Comparando parejas de parcelas vecinas, de edad de descanso contrastada se propone, reducir la variabilidad del suelo en estudio. Se realizó, en primer lugar, un muestreo clásico y luego por horizontes en una calicata.

Muestreo 0-20 cm

Fueron identificadas 19 parejas de parcelas vecinas en diferentes sectores con la misma textura (de franco-arenosa a franca) y una duración del descanso muy distinta. Sólo en Tuntachawi (Figura 1), 10 parejas de parcelas, de textura franco-arenosa oponen 2 y 15 años de descanso. Aplicamos el método estadístico de las parejas, utilizado para comparar promedios, entre dos series de datos obtenidos de los mismos individuos, considerando que el mismo terreno puede tener dos duraciones de descanso distintas.

La comparación de los promedios de las 19 parejas por el t de Student da una probabilidad unilateral inferior a 5% solamente para la suma de cationes S: probabilidad de 0.9% (HS). La comparación de los promedios de las 10 parejas de Tuntachawi, que mantienen la misma diferencia de tiempo de descanso (2-15 años), da una probabilidad unilateral inferior a 5% solamente para el fósforo: probabilidad de 2.62% (S).

Perfiles culturales

Con la finalidad de controlar la profundidad de muestreo, varios perfiles culturales fueron escarvados perpendicularmente a las fronteras entre algunas parejas de parcelas localizadas a lo largo de un transecto:

cumbre, pendiente, pampa en dos sectores de *aynuq'a* comparables, Guthaña y Tuntachawi (Figura 1). Hasta los seis años de descanso, la cobertura vegetal es de *Bouteloua simplex*, desde los nueve años, es de *Baccharis incarum*. Se tenía así la posibilidad de diferenciar el horizonte superficial (0-5 cm) y el horizonte subyacente, hasta el fondo de labranza. Por la ausencia de variabilidad lateral de los estados estructurales del suelo, no se ha considerado necesario separar otras unidades de muestreo para el análisis químico.

En el transecto de Tuntachawi, los horizontes 0-5 cm y 5-20 cm, son limoso-arenosos, con estructura poliédrica redonda y porosidad tubular. Existe un gradiente de pedregosidad entre la pampa (24 a 29% >2mm) y las situaciones de ladera y cumbre (60 a 75% >2mm). Un horizonte muy pedregoso aparece a 20 cm en ladera, 30 cm en pampa y 40 cm en cumbre, con una estructura poliédrica angulosa. Las situaciones comparadas son:

Cumbre T1 (14 años), Ladera T2 (14 años y 6 años), Pampa T3 (14 años, 6 años y 1 año).

En el transecto de Guthaña, los horizontes 0-20 cm son también limoso-arenosos, con una estructura masiva a fragmentos redondos y una microporosidad tubular importante. Se encuentra el mismo gradiente de pedregosidad, pero con tasas menos elevadas de elementos gruesos: 12% en pampa y 43-48% en cumbre y ladera. Los horizontes subyacentes varían de franco muy pedregoso a franco-arenoso con toba alterada, estructura masiva, poliédrica a columnar. Las situaciones comparadas son:

Tabla 3: Efecto de la duración del descanso estimado por la diferencia entre años

Años de descanso	pHa	dPH	C	N	C/N	P	K	Ca	Mg	Na	S	T
Q2 (9-5)	-0.2	-1.27	2.21	0.12	1.4	-32	0.14	3.6	0.98	-0.03	3.49	3.4
T2 a (14-6)	-0.05	-0.33	8.45	0.52	3.01	0	0.56	1.14	0.35	0.01	2.06	1.93
T2 b (14-6)	0.17	0.13	1.36	0.28	-0.91	-15	0.17	0.25	0.03	0.01	0.46	-0.25
T3 a (14-6)	-0.34	-0.07	3.31	0.63	-0.94	2	0.03	0.08	-0.35	0.02	-0.21	-1.33
T3 a (6-1)	0.05	-0.13	0.17	0.01	0.13	10	-0.04	0.4	-0.33	0.02	0.05	1.2
T3 b (6-1)	0.29	-0.12	0.95	0.17	-0.44	-11	-0.01	0.44	0.07	0	0.51	0.14

Cumbre Q1 (9 años), Ladera Q2 (9 años y 5 años), Pampa Q3 (5 años).

Se compara parejas de parcelas de misma edad de descanso dispuestas en una posición topográfica distinta: cumbre, ladera y pampa, para detectar un posible efecto de la topografía (Tabla 2); y parejas de parcelas situadas en la misma posición topográfica (ladera o pampa), que varían en su edad de descanso, para aislar el efecto del descanso (Tabla 3). En este último caso la variedad de los intervalos de tiempo de descanso considerados, 4 a 8 años, impide expresar la diferencia de los valores en porcentaje de un testigo.

Los cationes, Ca, Mg, K y, por ende, la suma de cationes, son mayores en ladera que en cumbre y, en cumbre, mayores que en pampa. Se encuentra la misma relación para el carbono orgánico, el nitrógeno y la relación C/N, pero los resultados son contradictorios para el fósforo y la acidez intercambiable dPH. La diferencia entre cumbre y pampa es inferior a una unidad de pH. El contenido en sodio no varía entre estas situaciones. Las parcelas de ladera tienen más cationes intercambiables y materia orgánica que las de pampa.

El dPH disminuye con los años de descanso, lo que concuerda con lo observado en la ACP. Se constata un aumento de los valores del carbono orgánico C (aumento nítido, sobre todo entre 6 y 14 años), del N (aumento educido); de Ca, S y S/T entre 1 y 6 años, 5 y 9 años, y 14 años. El contenido de potasio tiende a aumentar sólo después de 5-6 años. El contenido en sodio no varía según el tiempo de descanso. Los datos de pH, Mg y T son contradictorios. El contenido en fósforo similar tiende a disminuir con el tiempo de descanso.

Discusión y conclusión

No existe un indicador único de la fertilidad del suelo. Aparecen más bien diferentes tendencias que no van siempre en el mismo sentido y, por lo general relaciones no lineales. Se observa interacciones entre el stock químico, la topografía del terreno y la granulometría del suelo, lo que hace más difícil discernir *in situ* el efecto de la duración del descanso. Dentro de las variables estudiadas, aparecen más sensibles a la duración del descanso las esporas de micorrizas MVA, los cationes intercambiables, la capacidad de intercambio catiónico (C) y la acidez intercambiable (dPH). Por las posibles compensaciones de fertilidad, sobre todo en suelos muy pobres o degradados, parece imprescindible un diagnóstico microbiológico. El fósforo tiene un comportamiento específico; pero faltan tal vez métodos de análisis más adecuados para evaluar las dinámicas de este elemento en el suelo (Plet, 1980). Tanto para el fósforo, como para el nitrógeno, sería importante analizar diferentes fracciones orgánicas e inorgánicas.

La heterogeneidad del medio es un problema serio de los estudios *in situ*. Se ha intentado explorar esta variabilidad, principalmente a través de la textura del suelo, probando diferentes métodos para reducirla. Pero, uno se puede preguntar si las situaciones encontradas en estación experimental son menos variadas. Aún en pampa, la heterogeneidad del suelo es alta. Además, es difícil controlar en estación experimental la historia cultural de las parcelas y encontrar duraciones muy contrastadas de descanso del suelo; salvo diseños experimentales de larga duración, costosos y difíciles de manejar en entornos

- SPRELLA R., HERVE D., FRANCO J., 1994. Control del nematodo quiste de la papa (*Globodera pallida*) por el descanso largo controlado comunalmente. Altiplano central boliviano. In: Dinámicas del descanso de la tierra en Los Andes, D. Hervé, D. Genin, G. Rivière eds., La Paz, ORSTOM-IBTA, 171-183.
- ELLER C., MILLEVILLE P., 1977. Evolution des sols de défriche récente dans la région des Terres Neuves (Sénégal Oriental), Cah. ORSTOM, ser. Biol., vol. XII, N° 3: 199-211.
- ELLER C., LAVALLE P., ALBRECHT A., NICOLARDOT B., 1993. La jachère et le fonctionnement des sols tropicaux: rôle de l'activité biologique et des matières organiques. Quelques éléments de réflexion. In: Jachères en Afrique de l'Ouest, C. Floret, G. Serpantié eds., Montpellier, ORSTOM, Coll. Colloques et Séminaires, 15-32.
- ONSECA C., MAYER E., 1988. Comunidad y producción en la agricultura andina. E. Mayer comp., Lima, FOMCIENCIAS, 212 p.
- GENIN D., FERNANDEZ J., 1994. Uso pastoril de las tierras en descanso en una comunidad agropastoril del altiplano boliviano. In: Dinámicas del descanso de la tierra en Los Andes, D. Hervé, D. Genin, G. Rivière eds., La Paz, ORSTOM-IBTA, 201-213.
- HERVE D., 1994.a. Desarrollo sostenible en Los Andes Altos: los sistemas de cultivos con descanso largo pastoreado. In: Dinámicas del descanso de la tierra en Los Andes, D. Hervé, D. Genin, G. Rivière eds., La Paz, ORSTOM-IBTA, 15-36.
- HERVE D., 1994.b. Respuestas de los componentes de la fertilidad del suelo a la duración del descanso. In: Dinámicas del descanso de la tierra en Los Andes, D. Hervé, D. Genin, G. Rivière eds., La Paz, ORSTOM-IBTA, 155-169.
- HERVE D., GENIN D., RIVIERE G., 1994. Balance del convenio IBTA-ORSTOM (1992-1994) "Dinámicas de los sistemas de producción en el altiplano boliviano". La Paz, IBTA-ORSTOM.
- HERVE D., GENIN D., RIVIERE G., MIGUEIS M., PACHECO L., 1994. Jachères et dynamiques socio-économiques dans les Andes: États, représentations et gestion du milieu. La Paz, ORSTOM, Rapport scientifique CNRS 1994, 53 p.
- MOREAU R., 1984. Etude sur parcelles comparatives de l'évolution des sols ferralitiques sous différents modes de mise en culture en zones forestières et préforestières de Côte d'Ivoire. Cah. ORSTOM, sér. Pédologie, vol. XXI, N° 1: 43-56.
- O'HALLORAN I.P., STEWART J.W.B., KACHANOSKI R.G., 1987. Influence of texture and management practices on the forms and distribution of soil phosphorus. Can. J. Sci., 67: 147-163.
- ORLOVE B.S., GODOY R., 1986. Sectoral Fallowing Systems in the Central Andes, Journal of Ethnobiology, USA 6(1): 169-204.
- ORLOVE B.S., GODOY R., MORLON P., 1992. Les assolements collectifs. In: Comprendre l'agriculture paysanne dans les Andes Centrales. Pérou-Bolivie. P. Morlon coord., Paris, INRA, 89-120.
- PLET P., 1990. Analyse des sols cultivés, Techniques Agricoles 1300 (6), 17 p.
- SARMIENTO L., 1995. Restauration de la fertilité dans un système agricole à jachère longue des hautes Andes du Venezuela. Thèse Docteur en Sciences, Univ. Paris XI-Ecologie, Paris, 237 p.
- SIVILA R., HERVE D., 1994. El estado microbiológico del suelo, indicador de una restauración de la fertilidad. In: Dinámicas del descanso de la tierra en Los Andes, D. Hervé, D. Genin, G. Rivière eds., La Paz, ORSTOM-IBTA, 185-197.