

Introducción

Balance de investigaciones sobre la reconstitución de la fertilidad del suelo en el Altiplano central Boliviano (TROPANDES – Bolivia)

Dominique Hervé¹ & Stephan Beck²

¹Institut de Recherche pour le développement, IRD, BP 64501, 34394 Montpellier Cedex 5, Francia, herve@mpl.ird.fr

²Instituto de Ecología, Herbario Nacional de Bolivia, Universidad Mayor de San Andrés, Correo Central Casilla 10077, La Paz, Bolivia, lpb.dir@accelerate.com

En este número especial de la revista *Ecología en Bolivia* se presentan resultados del proyecto TROPANDES obtenidos en Bolivia (1998–2002) sobre la gestión de la fertilidad del suelo en sistemas de cultivo con descanso largo (Comunidad Europea, INCO-DC, ERBIC18CT98-0263). El equipo de TROPANDES en Bolivia reunió a investigadores del Instituto de Ecología (IE) de la Universidad Mayor de San Andrés (UMSA) en La Paz y del Institut de Recherche pour le Développement (IRD), asociados mediante un acuerdo UMSA-IRD y del Instituto Boliviano de Tecnología Nuclear (IBTEN), a los cuales se incorporaron investigadores del Museo Nacional de Historia Natural (MNHN) y del Herbario Nacional de Bolivia (LPB). Esta publicación ha sido financiada por el Instituto de Ecología (La Paz, Bolivia) y la red andina MOSAndes, una red de investigación en agrobiología del suelo, financiada por Venezuela y el CYTED España entre 2000 y 2004, que ha ampliado la red de contrapartes inicializada por el proyecto TROPANDES con nuevos asociados latinoamericanos de Colombia, Cuba, Ecuador y Perú. Aprovechamos la oportunidad de este número especial para realizar un balance de las investigaciones realizadas en Bolivia desde 1998 en TROPANDES, citando también tesis sustentadas y artículos ya publicados antes de este número especial (Anexo 1).

Hacemos primero una reseña de las investigaciones conducidas en el mismo tema y lugar por el IE y el IRD. Luego situamos el sitio del proyecto TROPANDES cuyos objetivos han sido expuestos en el prefacio, en el contexto edafo-climático del Altiplano Central de Bolivia. En una tercera parte, rescatamos los resultados más saltantes y esbozamos futuras pistas de investigación.

Trabajos anteriores del IE y del IRD relacionados con TROPANDES

La asociación del IE y del IRD que ha permitido este trabajo es el fruto de un interés compartido de largo alcance en el Altiplano boliviano. La investigación que se presenta en este número especial resulta sobre todo de un encuentro entre dos corrientes de investigación llevados por ambas instituciones, en ecología (Anexo 2) y en agronomía (Anexo 3).

El Instituto de Ecología fue creado en La Paz en 1978. Heinz Ellenberg, su promotor y colaborador cercano, fue uno de los primeros en adelantar investigaciones sobre el funcionamiento de los ecosistemas terrestres en el marco del programa “International Biological Program – IBP” (Ellenberg 1971, Ellenberg *et al.* 1964, 1986) y del programa “Man and Biosphere – MAB” de la UNESCO (Ellenberg 1979, 1981, 1982). Esta orientación de ecología funcional empleó Ruthsatz

(1977) en la puna del norte de Argentina y luego se aplicó durante quince años a los estudios en la puna del Altiplano boliviano. En los años 1979-1994, el Instituto de Ecología ha desarrollado trabajos de investigación integrados sobre la comunidad de Huaraco, en el Altiplano central (Hanagarth & Fisel 1983), encofisiología (Lieberman & Lorini 1979, Lorini & Geyger 1982, Lorini *et al.* 1984, Wiesenmüller 1990, Geyger *et al.* 1992), en suelo y nutrientes de plantas (Ruiz 1982, Salm 1983a, 1983b, 1984, Salm & Gehler 1987, Bustamante & Ruiz 1987, 1988, Amurrio 1992, Chilon 1992, Gehler 1992, Sivila 1994) y en el estudio de la flora y de la fitosociología (Ruthsatz 1982, 1983, Beck 1985, 1988). El uso de la tierra y de sus productos reflejan los trabajos de Fisel & Hanagarth (1983), Lieberman & Fisel (1983), Ruthsatz & Fisel (1983), Hanagarth (1987, 1989a, 1989b) y Fisel (1989). Hicieron una síntesis parcial de los trabajos realizados en la comunidad de Huaraco Lorini (1994) y Morales (1994). Lieberman (1987, 1989) y Lieberman *et al.* (1987) efectuaron estudios en la puna húmeda sobre el uso de tierra en Huarina, en la orilla del lago Titicaca y en el Altiplano norte.

El Institut de Recherche pour le Développement (IRD, ex-ORSTOM), mediante un convenio con el IBTA (Instituto Boliviano de Tecnología Agropecuaria) hoy desaparecido, realizó investigaciones interdisciplinarias entre 1990 y 1998 sobre las dinámicas del descanso de la tierra, en las comunidades de Pumani (al Norte de Patacamaya), Patarani (Camacho 1995, Rivera 1995) y en la estación experimental de Patacamaya (Hervé & Condori 1996), situadas en el Altiplano central, pero en su límite norte. Alrededor de la ciencia agronómica se reunieron investigadores de varias disciplinas en la comunidad de Pumani para realizar un diagnóstico integral sobre las funciones del descanso de la tierra, que fue sintetizado en publicaciones colectivas (Hervé *et al.* 1994, Genin *et al.* 1995, Rivière *et al.* 1996, Hervé & Rivière 1998). La comunidad de Pumani es un caso representativo para los Andes centrales

de la gestión comunal de los sistemas de cultivo con descanso largo y pastoreado (Hervé 1994a). Las disciplinas involucradas fueron la agronomía de los sistemas de cultivo (Pozo & Hervé 1992, Brugioni 1994, Hervé *et al.* 1994), asociada desde los años 1990 a la ecología del suelo (Hervé 1994b, Esprella *et al.* 1994, Sivila & Hervé 1994, Hervé 1995, Hervé & Ramos 1996, Hervé & Sivila 1997), la zootecnia asociada al pastoralismo (Genin & Fernandez 1994), la forestería (Ayangma & Hervé 1996), la antropología y la sociología (Rivière 1994, Pacheco, 1994, Hervé & Rivière 2000) y la geografía (Hervé & Ayangma 2000); estos aportes fueron en parte integrados por la modelización (Hervé *et al.* 2003).

TROPANDES

En una agricultura campesina sin uso de insumos, el largo descanso tiene varias funciones: reserva de tierra, fuente de leña y forrajes, control de plagas y nemátodos, aparte de la función de reconstitución de la fertilidad del suelo, que más comunamente se le reconoce. El debate sobre la reducción del tiempo de descanso debe entonces apuntar a las vías de substitución de cada una de estas funciones. Por ejemplo, el control químico de nemátodos es muy caro y fuera del alcance de los productores y ciertos de ellos están hospedados por especies vegetales del descanso. La producción máxima de forraje se obtiene en los cinco primeros años del descanso pero este tiempo resulta insuficiente para el crecimiento de los arbustos extraídos para leña en la labranza. Se necesita una mejor comprensión de los procesos de colonización del descanso para pensar influir en ellos. Un balance de estas funciones del descanso en el altiplano boliviano, analizadas desde los puntos de vista de varias disciplinas, se presenta en la síntesis de Hervé *et al.* (1994). Varios trabajos concuerdan en la dificultad de un diagnóstico integrando los diferentes componentes de la fertilidad del suelo (Sarmiento *et al.* 1993, Hervé 1994, Hervé

& Sivila 1997, Pestalozzi 2000). En el Altiplano boliviano, dos factores son escasos, el agua y el nitrógeno del suelo. En TROPANDES se trató entonces de discutir el papel de la materia orgánica en la reconstitución de la fertilidad del suelo durante el descanso y el ciclo de cultivo encabezado por la papa, a partir del análisis de los ciclos del carbono y del nitrógeno en el suelo mediante marcadores isotópicos.

Ubicación y contexto edafo-climático

El Altiplano boliviano es una planicie de altura (entre 3.600 y 4.100 m) con varias serranías, que se extiende en cerca de 100.000 km². Corresponde a una antigua depresión lacustre entre la Cordillera Real al Este y la Cordillera Oriental (Servant & Fontes 1978, Servant & Vildary 1978) de la cual quedan solamente la cuenca endorreica del lago Titicaca, lagos y salares altiplánicos. Más de la cuarta parte de la población rural boliviana vive en el Altiplano. La pluviometría decrece (800 a 200 mm) y la temperatura promedio baja (10°C a 5°C) según un gradiente Norte-Sur, lo que define una aridez creciente hacia el Sur. Se puede distinguir entonces el Altiplano norte con precipitaciones de 600 a 800 mm, el Altiplano central con precipitaciones promedio de 400 mm (300-500 mm) y el Altiplano sur con precipitaciones inferiores a 300 mm, que corresponden respectivamente a la puna semi-húmeda, semi-árida y árida (Ellenberg 1981).

El proyecto TROPANDES trabajó en la puna semiárida en el área de influencia de la estación experimental de Patacamaya (hoy desaparecida) entre 1998 y 2002 (Figura 1). En Patacamaya, se instalaron cercos de clausura alrededor de dos parcelas de 3 y 8 años de descanso. En la comunidad de Patarani, vecina a Patacamaya, se monitorearon parcelas campesinas de uno a más de veinte años de descanso. En Patacamaya, Patarani y Huaraco se evaluaron parcelas campesinas con cultivo de papa dulce y amarga posterior al descanso y sucesiones de papa-papa y papa-cebada. En otra parcela en Patarani

se comparó el efecto de dos coberturas vegetales del descanso (leguminosas nativas y gramíneas) sobre la misma rotación de papa y cebada. Patacamaya y Patarani se sitúan en el límite entre el Altiplano norte - donde dominan hoy en día terrenos en descanso con numerosas hierbas y matas de gramíneas duras - y el Altiplano central, desde donde sobresalen arbustos siempreverdes. La estación experimental de Patacamaya situada a 3.790 m está localizada entre las ciudades de La Paz y Oruro, a 110 km al Sur de La Paz, en las coordenadas 67° 57' Oeste y 17° 15' Sur. La comunidad de Patarani se encuentra a 6 km al Nor Oeste de Patacamaya (68° Oeste y 17° 6' Sur) a 3.800 m y la comunidad de Huaraco (67° 38' Oeste y 17° 22' Sur), 25 km más al Sur, cerca a la carretera que va a Oruro a 3.750 m (3.700-4.200 m).

Martinic *et al.* (1994) relacionaron los datos de temperaturas máximas, mínimas y de precipitación de las estaciones de Patacamaya y de la ciudad de La Paz y Ramírez *et al.* (1995) analizaron la serie 1920-1991 de la precipitación en el observatorio de San Calixto (La Paz). En esta puna semi-árida, los riesgos climáticos son elevados durante la época de cultivo: heladas radiativas, precipitaciones irregulares y sequías (Le Tacon 1989). De los datos obtenidos en Patacamaya entre 1987 y 1991 (Vacher 1998), recordaremos una precipitación promedio anual de 403 mm (80% entre noviembre y abril), una evaporación potencial anual (lisímetros) de 1.270 mm, una precipitación acumulada en los meses de producción de 293 mm muy variada según los años (89-485 mm) y que queda inferior a la demanda climática (Vacher & Imaña 1987). La tabla 1 indica las precipitaciones acumuladas en las épocas de cultivo estudiadas por cada investigador de donde se desprende una fuerte variación interanual. El ciclo 1999-2000 se caracterizó por la ocurrencia de heladas, el ciclo siguiente 2000-2001 por un exceso de precipitaciones que resultó en inundaciones y rebordes de ríos, y el último de 2001-2002 por una sequía durante la

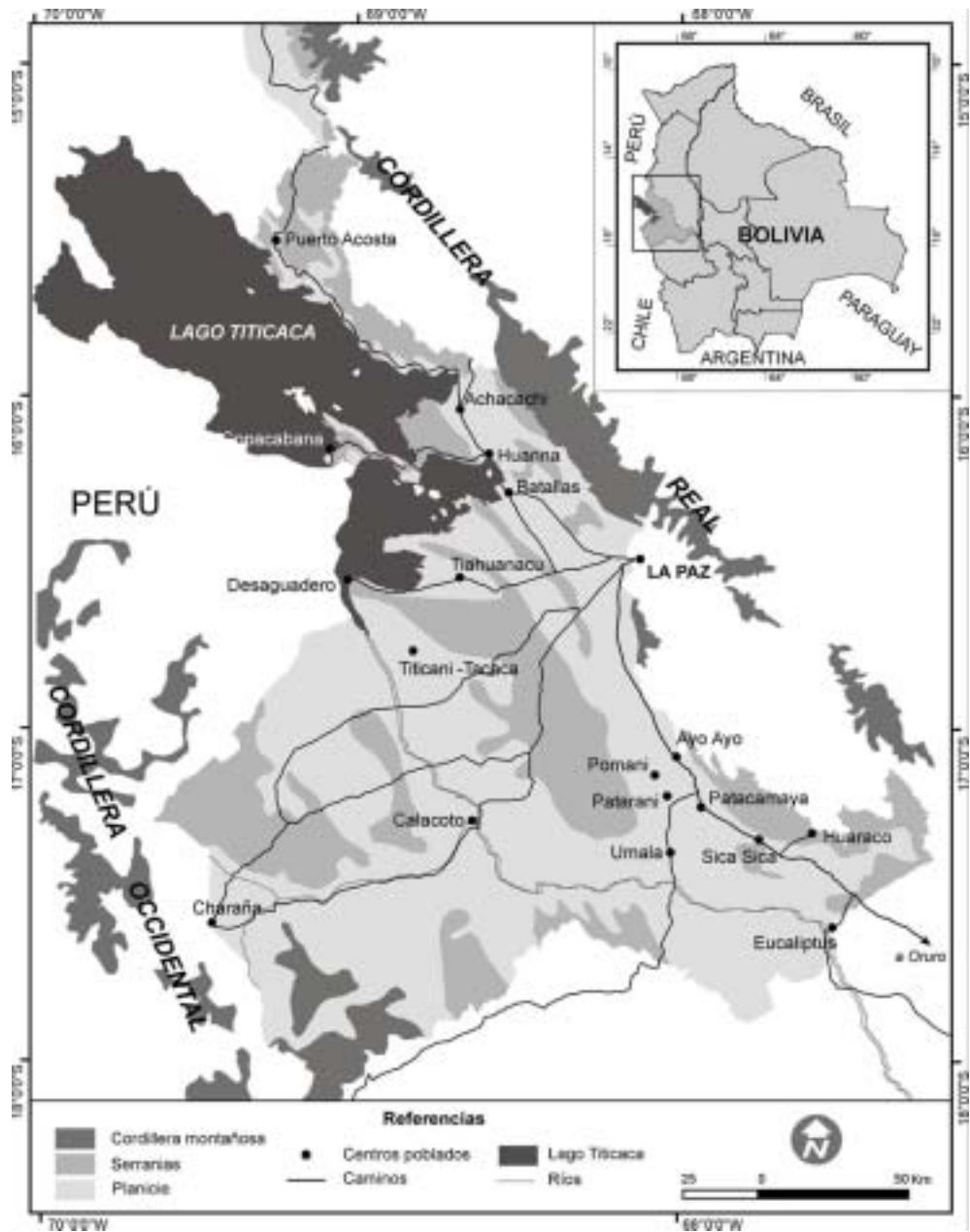


Fig. 1: Mapa de ubicación de los sitios estudiados en TROPANES-Bolivia.

época de cultivos. La temperatura promedia anual es muy estable entre 8 y 10 °C, según la serie de años que se toma como referencia. La probabilidad de tener heladas por debajo de -2°C durante los principales meses de la época de producción es frecuentemente por encima del 30% (Le Tacon *et al.* 1992). A estas alturas, De Bouet du Portal (1993) indica valores elevadas de la radiación global. Los promedios de 1987-1991 fueron, para la radiación global, de 2.260 J/cm²/d en el año y de 2.390 J/cm²/d en la época de cultivo y para la radiación neta de 908 J/cm²/d en el año y 1.060 J/cm²/d en la época de cultivo.

Los contextos edafológicos estudiados en Patarani y Patamaya se caracterizan por un horizonte superficial franco-arenoso. A más de 30 cm se observan dos casos posibles: (1) un horizonte pedregoso que sigue con un horizonte arenoso profundo, (2) un horizonte pedregoso con cimientado areno-arcilloso que sigue con un

horizonte arcilloso más profundo. Un ejemplo del caso 1 se encuentra en Mita (2006), quien describe a un arenosol en Patarani, con horizonte arenoso (68% arena, 6% arcilla) y luego un nivel de piedras con 19% de arcilla, seguido con arena pura (96%) a mayor profundidad. Las mismas características del horizonte 0-20 cm fueron observadas en Patamaya por Hervé & Condori (1996): 78.8% arena, 6.4% arcilla y pH_{H₂O} = 7. Un ejemplo del caso 2 se encuentra en García (1991): un regosol en Patamaya con un primer horizonte franco-arenoso (0-30 cm, 12% de arcilla) y un segundo horizonte pedregoso (30-60 cm, 54% de piedras, 28% arcilla) encima de un horizonte nítidamente arcilloso (71% arcilla); el pH es ligeramente ácido a neutral, pH_{H₂O} = 6.1 a 7.6. Los suelos en Huaraco han sido descritos por Salm (1983a) y por Chilon (1992) y también con relación al agua subterránea (Salm 1984) y al nitrógeno del suelo (Ruiz 1982, Salm 1983b).

Tabla 1: Precipitaciones en Patamaya en épocas de cultivo. Abreviaciones: d.= días.

Años Epoca de cultivo	Precipitación acumulada en la época de cultivo	Fuentes
1998-1999:		
10/98-04/99	334 mm (Patamaya)	Hervé & Mita (2001)
10/98-04/99	398 mm (Huaraco)	Hervé & Mita (2001)
27/11/98-26/11/99	472 mm (365 d.)	Coûteaux <i>et al.</i> (2006)
1999-2000:		
04/11/99-01/05/00	316 mm (179 d.)	Mita (2006)
27/11/99-26/11/00	404 mm (365 d.)	Coûteaux <i>et al.</i> (2006)
2000-2001:		
05/11/00-20/04/01	492 mm (167 d.)	Mita (2006)
27/11/00-26/11/01	551 mm (365 d.)	Coûteaux <i>et al.</i> (2006)
01-12/01	539 mm (365 d.)	Ortuño <i>et al.</i> (2006)
2001-2002:		
26/10/01-20/03/02	183 mm (145 d.)	Mita (2006)
01-12/02	422 mm (365 d.)	Ortuño <i>et al.</i> (2006)

Temas tratados

En primer lugar, Chumacero & Camacho plantean varias preguntas sobre las dinámicas del sistema de *aynuqa* en el Altiplano boliviano: aumento del tiempo de descanso o abandono de los terrenos de *aynuqa* demasiado alejados, que se convierten entonces en fuentes de forraje; intensificación si existe riego y proximidad de un mercado urbano. El seguimiento de la dinámica del uso del suelo en cuatro comunidades y en un plazo de 10 años nos enseña que el sistema de *aynuqa* cambia pero sin desaparecer. Este resultado documenta un análisis compartido por otros autores; merecería mayor atención de parte de los diseñadores de la reforma agraria.

Con el seguimiento sincrónico y diacrónico de varias parcelas en la comunidad de Patarani y un enfoque de ecología funcional, Ortuño, Beck & Sarmiento estudian las sucesiones vegetales durante el descanso. La distribución de las especies revela la etapa de la sucesión vegetal, pero sobre todo las características climáticas del año. Mediante el seguimiento de *litterbags* para algunas especies, Coûteaux, Hervé & Beck evalúan la calidad de las necromasas incorporadas al suelo y su velocidad de descomposición. Saugier considera a estos trabajos en la perspectiva más amplia de los cambios climáticos globales y presenta con Pontaillier datos originales sobre la capacidad fotosintética de algunas especies vegetales del Altiplano boliviano. Estas mediciones merecerían ser extendidas a muchas otras especies importantes en el Altiplano boliviano. En la ecología del suelo, se trató de esclarecer la dinámica del nitrógeno en el suelo durante el descanso y luego durante el cultivo. Recalamos tres originalidades de estas investigaciones: (1) el papel asignado a la microbiota del suelo y la biomasa microbiana en la etapa de mineralización - deducido de resultados obtenidos anteriormente tanto en Venezuela como en

Bolivia - fue confirmado y explorado; (2) el interés de los trazadores isotópicos ^{14}C y ^{15}N para seguir los procesos de mineralización de la materia orgánica en el suelo y (3) el aporte de la modelización para entender estos procesos. Mientras Sivila analiza la evolución de la microbiota del suelo en función de la duración del descanso (Sivila & Angulo) y durante el cultivo de papa según la cobertura vegetal del descanso, con o sin leguminosas (Sivila & Hervé), Bottner *et al.* aplican una versión simplificada del modelo MOMOS para simular la cinética de la descomposición de la materia orgánica en el suelo, a partir de biomásas que provienen sea del descanso, sea del cultivo.

Se valorizó una red de parcelas experimentales de cultivos de papa después del descanso para construir un balance del nitrógeno en papa (Hervé, Mita & Coûteaux), una etapa necesaria para discutir del número de años de cultivo permitido por la duración del descanso. La descomposición del estiércol de ovinos y de los residuos de cultivo de papa se presenta fuera de este número especial de la revista Ecología en Bolivia (Coûteaux, Hervé & Mita) y la modelización de la sucesión de cultivos papa-cebada en una tesis de maestría (Mita 2006). Los resultados obtenidos de las diferentes disciplinas involucradas se valorizan en la construcción de modelos determinísticos y de simulación del agroecosistema: descanso - cultivo de papa, que se presentan en otras revistas. Así Martineau (2005) logró reducir la gran diversidad de especies del descanso, muchas de ellas con rango de tolerancia amplio, para formular un modelo de simulación del descanso con solo seis especies representativas de los grupos funcionales. Se presenta en este número de la revista Ecología en Bolivia una versión adaptada para TROPANDES del modelo MOMOS de descomposición de la materia orgánica del suelo, que es solo uno de los cinco modelos elaborados en el proyecto (ver Carballas en el prefacio).

Principales alcances y logros

Resultados originales

Ciertos grupos de especies vegetales han sido reconocidos como indicadores de clases de edades de descanso (Ortuño, Sarmiento & Beck). En descansos recientes, se nota una mayor presencia de especies anuales y/o oportunistas como *Erodium cicutarium*, *Bromus catharticus*, *Tagetes multiflora* y *Tarasa tenella* que se mantienen durante varios años en la sucesión. El aumento de especies de hábito perenne con crecimiento lento y gradual - como es la gramínea *Stipa ichu* y las diversas especies de *Nassella*, *Baccharis incarum* y *Parastrephia lepidophylla*, se observa en descansos hasta de seis años. La proporción de estas especies sube después no linealmente hasta los 10 y 20 años. Existen especies que solo ingresan en el sistema después de varios años de descanso como *Spergularia andina*, *Plantago sericea*, *Crassula connata* y *Portulaca perennis*. Se constata que la vegetación es relativamente poco diversa y adaptada a una presión de pastoreo por los ovinos y bovinos donde domina una capa de vegetación de solamente 0-5 cm. En Gavidia (Venezuela) se observa una gran diversidad de arbustos y diferentes trayectorias de sucesión vegetal. En la puna de Patacamaya, las tres principales especies de arbustos, *Baccharis*, *Parastrephia* y *Tetraglochin* cuentan con un sistema radicular muy profundo (más de 3 m) y una capacidad de micorrización en plantas jóvenes, verificada para los dos primeros géneros (Lipa 2006). En las comunidades estudiadas ya no quedan terrenos no pastoreados, pues todo el territorio ha sido en algún momento incluido en una rotación de cultivos, por lo que los terrenos de pastoreo son terrenos en descanso.

Los modelos de producción de biomasa durante el descanso y de mineralización de la materia orgánica en el suelo tuvieron que adaptarse a un sistema semiárido, caracterizado por una escasa cobertura por la vegetación (30

a 50%), efectos microespaciales de colonización del espacio y de protección de plantas por otras (el microclima reinante debajo de los arbustos); se tiene que usar las experiencias de la ecología de las zonas áridas. Se constata también que la composición de la vegetación puede variar significativamente de un año a otro, debido a las variaciones extremas de las condiciones climáticas y muy localmente de un evento lluvioso a otro. Ocurre que algunas especies anuales, bajo condiciones tropicales de montaña, pueden convertirse en bianuales. La sobrevivencia a condiciones a la vez frías y secas conduce a las plantas en asegurar su emergencia solamente en las épocas más favorables (efeméritos) o a buscar horizontes profundos del suelo (plantas en amohadilladas o cojines con sistema radicular muy profundo). A pesar de su baja producción de biomasa aérea y baja cobertura del suelo, estas plantas pueden tener un papel mucho más importante en el incremento de los elementos minerales. De manera general, en estos ecosistemas el sistema radicular representa una biomasa subterránea muy superior a la aérea.

La velocidad de descomposición de tallos y hojas de *Parastrephia lepidophylla* y *Baccharis incarum* es alta (Coûteaux, Hervé, Beck). Al tener tasas iniciales elevadas de nitrógeno y de componentes no estructurales (NS), las hojas de *Parastrephia* perdieron el 60% de su masa en los primeros tres meses de incubación. Este resultado va en contra de lo que se podía esperar de una descomposición más rápida en gramíneas que en arbustos. Resalta entonces su posible uso como abono verde y posiblemente luego de un tratamiento apropiado para extraer aceites esenciales (Ayma *et al.* 1995), como forraje rico en proteínas. Otra especie que se diferencia de las demás por el mayor contenido en nitrógeno y en componentes no estructurales es una pequeña dicotiledónea herbácea europea, naturalizada en América, *Erodium cicutarium*. Se diferencia de las demás por una descomposición más rápida con una pérdida de masa inicial en la

época de lluvias del 40% y después de un año de incubación de 60%. La principal conclusión a la cual llegan Coûteaux, Hervé y Beck es que el sistema de la vegetación del descanso funciona entonces con arbustos que producen abundante necromasa y una hojarasca que se descompone rápidamente por ser rica en N y NS y con gramíneas que mantienen una necromasa disponible mucho más lenta en descomponerse, que queda en pie al centro de las matas (necromasa en pie).

Con el seguimiento durante dos años de litter-bags conteniendo paja marcada con ^{14}C y ^{15}N , se llegó a la conclusión que la edad del descanso no interfiere sobre los procesos, por lo menos para el rango estudiado de 3 a 8 años de descanso (Bottner *et al.*). El nitrógeno es liberado en el Altiplano boliviano por la mineralización de la materia orgánica acumulada durante el descanso, con una tasa de mineralización relativamente alta, en comparación de la medida en Gavidia en el páramo venezolano (Bottner *et al.*). La confrontación de los casos venezolano y boliviano permitió relativizar la hipótesis de una mineralización muy baja por las condiciones climáticas adversas en el Altiplano boliviano. En todo caso, faltó todavía medir en Patacamaya la mineralización neta del nitrógeno del suelo, para completar los datos que Ruiz (1982) y Salm (1983) obtuvieron en Huaraco, que quedan por el momento como las únicas referencias disponibles para el Altiplano boliviano. En el componente microbiológico, se confirmaron resultados anteriores. En suelos pobres con tasa muy baja en nitrógeno del suelo, (1) la actividad microbiana adquiere un papel importante en acumular nitrógeno y cederlo paulatinamente al suelo (Sivila & Angulo); convendría sincronizar esta liberación de nitrógeno con las necesidades de los cultivos; (2) la actividad micorrícica es generalizada en las especies que colonizan el descanso (Lipa 2006), lo que confirma los resultados anteriores obtenidos en MVA de *Baccharis incarum* (Angulo 1997).

Se puede resaltar dos resultados en cuanto al efecto del descanso sobre el cultivo de papa. El primero es el efecto de leguminosas nativas sobre el rendimiento de papa y su efecto residual sobre los cultivos siguientes de la rotación (Sivila & Hervé). Este resultado abre pistas para la introducción de leguminosas o la revalorización de leguminosas nativas en los terrenos en descanso, por ejemplo con la siembra en zanjas abiertas al inicio del descanso. Se podría esperar de esta medida dos efectos: un incremento de la densidad de regeneración durante el inicio del descanso y un efecto precedente para el cultivo de cabeza de rotación (Mita 2006). El segundo resultado es la dinámica de descomposición del estiércol de ovino y de las necromasas de papa en el siguiente cultivo de papa; pone en debate asunciones aceptadas hasta la fecha sobre la fertilización orgánica de la papa en sistemas de cultivo campesinos (Mita 2006, Coûteaux, Hervé & Mita en prensa).

Logros metodológicos

El primer logro es la cooperación establecida en esta oportunidad entre dos disciplinas - la ecología y la agronomía - para estudiar el sistema de cultivo con descanso que integra la sucesión de cultivos y los estados vegetales post culturales. Se recalca el aporte de la ecología funcional en el estudio integrado de un ecosistema cultivado: descanso largo - papa. Se han abierto perspectivas de aplicar esta metodología en las rotaciones de cultivo completas: descanso largo-papa-cebada-cebada (Mita 2006) y descanso-papa-quinua-cebada.

Los dos siguientes logros son claramente metodológicos. La biomasa microbiana ha sido medida por primera vez en el Altiplano boliviano donde se practicaba hasta ahora el conteo de grupos funcionales de la microbiota del suelo. La evaluación de la biomasa microbiana dio una variable sintética que permite un análisis específico del compartimiento microbiano del suelo, además

de comparaciones con otros ecosistemas y referencias internacionales.

Recientemente se publicó con el apoyo del Instituto de Ecología el trabajo de Müller (2006), al margen de las investigaciones de TROPANDES, que va a ser muy útil por la actualización de la sistemática del género *Baccharis*. En este trabajo el autor incluye a *Baccharis incarum* dentro del complejo de *Baccharis tola* con cuatro subespecies y cuatro variedades. Concretamente la thola (*Baccharis incarum*) que hemos nombrado de esta manera en varios artículos, deberá denominarse como *Baccharis tola* Phil. subsp. *santelicensis* (Phil.) Joch. Müller var. *incarum* (Wedd.) Joch. Müller o más brevemente *Baccharis tola* var. *incarum*.

Desafíos y pistas para el futuro

- Convendría ampliar el diagnóstico sobre la dinámica del sistema de descanso largo pastoreado para todo el Altiplano de Bolivia y no solamente en una franja de cada lado de la carretera La Paz-Oruro. Sería también una manera de confirmar el grado de generalización de las conclusiones a las cuales llegamos. Se podría llevar a cabo sin mayores gastos, pero con el apoyo de redes de ONG's y de las mismas comunidades campesinas. Después de identificar los indicadores más pertinentes, se podría construir escenarios de la dinámica de estos sistemas en el Altiplano boliviano.
- Debido a la variación climática interanual es difícil poner en evidencia los procesos ecológicos acumulativos. Basta con una presencia adecuada de lluvias para reconstituir una población densa de plántulas. Se detectó entre 13 y 25 especies por parcela, pero los conteos sugieren que un mayor número de especies germina en años más lluviosos, como ocurre en ecosistemas secos (López 1999, Ortuño, Beck & Sarmiento 2006). La presencia y funcionamiento del banco de semillas permanente podría explicar el poblamiento

con especies anuales en un año climático favorable. López (1999, 2002, 2003) ha explorado detalladamente este tema del banco de semillas en la prepuna de Bolivia. Sus resultados indican una relación temporal específica de cada especie. Convendría conducir este tipo de investigación también en el Altiplano boliviano. Si luego de un año climático favorable se obtiene una alta densidad de plántulas, que parece resultar de una siembra, ¿cómo explicar que al final del descanso las plantas adultas no logran una cobertura del suelo superior al 30%?

- Dos factores humanos que influyen sobre la vegetación quedan por ser más investigados: el pastoreo (principalmente ovino, pero también bovino) y la extracción de leña (causal, durante los años de descanso y en parte compensada por la regeneración de los arbustos extraídos). Se intentó en el pasado instalar claustros, pero su deterioro ha interrumpido el seguimiento necesario en el largo plazo. También los mecanismos de mortalidad de arbustos deberían ser mejor entendidos para poder formular modelos de senescencia. Una limitante importante para poder emitir un diagnóstico sobre la capacidad de regeneración observada es la ausencia de ecosistema de referencia que podría jugar el papel de un ecosistema natural preservado.
- La perspectiva de un aumento del CO₂ y de un recalentamiento global es favorable a un secuestro o captura del CO₂ en el suelo y en las plantas por una mayor producción vegetal. Pero plantea un nuevo desafío y es el de abastecer las especies vegetales con una cantidad creciente de minerales. Con un modelo de producción de biomasa y un modelo de dinámica del nitrógeno en el suelo, tendríamos las herramientas para diseñar posibles escenarios futuros. Es con esta misma meta que se puede programar la modelización de la elaboración del

rendimiento de los principales cultivos en función del agua y nitrógeno del suelo. Lo que se adelantó en el sistema de cultivo descanso-papa-cebada, se podría desarrollar en otros sistemas de cultivo bastante extendidos, incluyendo en la sucesión a la quinua (*Chenopodium quinoa*) o a leguminosas como la haba (*Vicia faba*) o el tarwi (*Lupinus mutabilis*).

- Se ha comprobado con el análisis de la dinámica de la materia orgánica en el suelo el interés de haber comparado dos ecosistemas de montaña tropical, que corresponden a dos puntos extremos de los Andes: el páramo húmedo en el norte y la puna seca en el sur. Por ejemplo, Ruthsatz (1983) y Dollfus (1981, 1991) recalcaron que en los Andes centrales, las especies se adaptaron a la actividad humana y a los animales domésticos desde hace 10.000 años, cuando el aprovechamiento del medio es mucho más reciente en el páramo venezolano. Se podría valorizar todavía mucho más este tipo de comparación.

Deseamos subrayar finalmente que el proyecto TROPANDES representa un hito en un proceso de acumulación de conocimientos que debiera seguir por adelante. Cuestiones resueltas abren también nuevas preguntas. Pero deseamos que luego de esta etapa estos conocimientos adquiridos sean el objeto de una difusión adecuada hacia el productor campesino y que se popularice al nivel de comunidades y de escuelas rurales. Hay una demanda explícita en este sentido del mundo campesino organizado en sindicatos, de representantes de los pueblos indígenas, así como de los niveles de decisión en Bolivia.

Referencias

Nota: Se cita solamente los artículos no mencionados en los anexos 1, 2 y 3.

- Ayma, L., D. Hervé & M. Sauvain. 1995. Efecto del extracto acuoso de la *Ch'illca* (*Parastrephia lucida*) en el control de la sarna en llamas (*Lama glama*). Pp. 185-194. En: D. Genin, J. Picht & T. Rodríguez (eds.). Waira Pampa. Un Sistema Agropastoril Camélicos-Ovinos del Altiplano Árido Boliviano. ORSTOM-Pac Oruro-IBTA, La Paz.
- Dollfus, O. 1981. El reto del espacio andino. IEP, Lima. 141 p.
- Dollfus, O. 1991. Territorios andinos, reto o memoria. IFEA/IEP, Lima. 221 p.
- López, R. 1999. Cantidad mínima de lluvia que induce la germinación en un semidesierto, la Prepuna (Potosí, Bolivia). *Ecología en Bolivia* 33: 63-73.
- López, R. 2002. Umbrales de germinación de plantas anuales de la Prepuna y su respuesta a diferentes niveles de precipitación simulada. *Ecología en Bolivia* 37 (1): 15-22.
- López, R. 2003. Soil seed banks in the semi-arid Prepuna of Bolivia. *Plant Ecology* 168: 85-92.
- Martinic, N. J., C. del Castillo, J. J. Vacher & R. Bosseno. 1994. Análisis de ondas de datos de temperaturas máximas, mínimas y de la precipitación en la ciudad de La Paz y en el altiplano. pp. 17. En: Seminario Internacional Sobre Investigaciones Agrometeorológicas en América Central y América del Sur, 23-27 de mayo 1994, OMM-SENHAMI-ORSTOM, La Paz.
- Müller, J. 2006. Systematics of *Baccharis* (Compositae – Asteraceae) in Bolivia, including an overview of the genus. *Systematic Botany Monographs* 76: 1-341.
- Pestalozzi, H. 2000. Sectorial fallow system and the management of soil fertility: the rationality of indigenous knowledge in the high Andes of Bolivia. *Mountain Research and Development* 20 (1): 64-71.
- Ramírez E., J. Mendoza, E. Salas & P. Ribstein. 1995. Régimen espacial y temporal de las precipitaciones en la cuenca de La

- Paz. Bull. Inst. fr. études andines 24 (3) : 391-401.
- 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.
- Servant, M. & J.C. Fontes. 1978. Les lacs quaternaires des hauts plateaux des Andes boliviennes. Cahiers ORSTOM, Série Géologie 10 (1) : 9-23.
- Servant, M. & S. Vildary. 1978. Les diatomées des dépôts lacustres quaternaires de l'altiplano bolivien. Cahiers ORSTOM, Série Géologie 10: 25-35.

Anexo 1: Lista bibliográfica (hasta 2006 y aparte del número especial de Ecología en Bolivia) de los trabajos de investigación publicados sobre Bolivia por el proyecto TROPANDES

Nota: Con la opción de poner al alcance del lector la totalidad de las referencias disponibles, por este número especial, los editores han acordado incluir en esta lista las tesis defendidas, los artículos publicados, o en prensa (aprobados pero no editados a la fecha) o enviados (en proceso de evaluación) y separadamente los artículos en preparación. Esta lista no incluye los trabajos publicados en este número especial de la revista Ecología en Bolivia.

- Angulo, W. 1997. Relación simbiótica entre HMA – *Baccharis incarum* y su papel en la recuperación de suelos del altiplano. Tesis de licenciatura en Biología, Universidad Mayor de San Andrés, La Paz. 118 p.
- Bottner, P., M. Pansu, L. Sarmiento, D. Hervé, R. Callisaya-Bautista & K. Metselaar. 2006. Factors controlling decomposition of soil organic matter in the fallow systems of the high tropical Andes: a field simulation approach using ¹⁴C and ¹⁵N labelled plant material. Soil Biology and Biochemistry 38 (8): 2162-2177.
- 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, Universidad Mayor de San Andrés, La Paz. 88 p.
- Chumacero, C. 2003. Dinámica del descanso de tierras en un sistema de cultivo tradicional, en relación a la sucesión vegetal y a la fertilidad de suelos en la comunidad Titicani-Tacaca, la Paz, Bolivia. Tesis Licenciatura en Biología, Universidad Mayor de San Andrés, La Paz. 110 p.
- Coûteaux, M.M., D. Hervé & V. Mita. 2004. Dynamique de l'azote issu de la décomposition de résidus de pomme de terre et de fumier ovin dans une culture de pomme de terre en rotation sur deux ans (altiplano bolivien). VI^{ème} Journées de l'Ecologie Fonctionnelle, Rennes, 10-12 mars 2004 (poster). Resumen en el sitio internet <http://jef2004.univ-rennes1.fr/resumes.asp?extract=1>
- Coûteaux, M.M., D. Hervé & V. Mita (en prensa). Carbon and nitrogen dynamics of potato residue and sheep dung in a two-year rotation cultivation in the Bolivian Altiplano. Communications in Soil Science and Plant Analysis (C6098).
- Coûteaux, M.M., L. Sarmiento, D. Hervé & D. Acevedo. 2005. Determination of water-soluble and total extractable polyphenolics in biomass, necromass and decomposing plant material using near-infrared reflectance spectroscopy (NIRS). Soil Biology and Biochemistry 37: 795-799.

- Hervé, D. 2003. Comment la modélisation a-t-elle été développée dans le projet TROPANDES? Intégration des modèles du cycle agro-écologique à l'échelle de la parcelle et couplage avec un modèle de gestion de l'exploitation agricole. Atelier Modélisation Environnement, Session N°6, 11-12/12/03, Institut de Recherche pour le Développement, Natures Sciences Sociétés – Dialogues, Montpellier.
- Hervé D., J.C. Castella & N. Franchesquin. 2005. Couplage entre modèles biophysiques d'un système de culture à jachère longue et modèles d'exploitation agricole. Compte-rendu de la session N°6 de l'AME (Atelier Modélisation Environnement : « Apports de la modélisation à la gestion des ressources naturelles : dialogue entre disciplines »), 11-12/12/03, Institut de Recherche pour le Développement, Natures Sciences Sociétés – Dialogues, Montpellier.
- Hervé, D. & V. Mita. 2001. Comparación de rendimiento y respuesta al nitrógeno del suelo de variedades de papa amarga y dulce en el altiplano central boliviano. X Congreso Cultivos Andinos 4-7/07/01, Jujuy, Argentina, Fundandes-Cip-Condesan-FAO-IDRC-CFI (Resumen).
- Hervé, D., B. Paz, J. Migueis & J.-P. Treuil. 2003. Introduction de la modélisation dans une recherche interdisciplinaire : état et gestion de la jachère dans les Andes. *Natures, Sciences, Sociétés* 11(3): 243-254.
- Lipa, F. 2006. Micorrización en plantas colonizadoras y su relación con la sucesión vegetal de parcelas en descanso de la comunidad de Patarani (Provincia Aroma, La Paz). Tesis Licenciatura en Biología, Universidad Mayor de San Andrés, La Paz. 52 p.
- Lipa, F. & R. Sivila de Cary. 2001. Avances preliminares en el estudio de la vegetación sucesional de parcelas en descanso: relación raíz aspectos microbiológicos. Pp. 221-222. En: Resúmenes del cuarto Simposio internacional de desarrollo sustentable en los Andes. La estrategia andina para el siglo XXI. ICAE, Universidad de los Andes, Mérida.
- Martineau, Y. 2003. Le modèle de succession végétale au cours de la jachère (modèle FAPROM). Atelier Modélisation Environnement, Session N°6, 11-12/12/03, Institut de Recherche pour le Développement, Natures Sciences Sociétés – Dialogues, Montpellier.
- Martineau, Y. 2004. Modélisation des successions post-culturales. Application à la gestion durable des agro-écosystèmes des hautes Andes tropicales. Thèse Docteur en Sciences, Universidad de Paris XI, Orsay, discipline: écologie, Paris. 98 p.
- Martineau, Y. & B. Saugier. 2006. Comportement contre-intuitif d'un modèle mécaniste de succession végétale. *C. R. Acad. Sciences, Biologies* 329: 21-30.
- Metselaar, K. 2003a. Le bilan hydrique de la parcelle (modèle SAHEL). Atelier Modélisation Environnement, Session N°6, 11-12/12/03, Institut de Recherche pour le Développement, Natures Sciences Sociétés – Dialogues, Montpellier.
- Metselaar, K. 2003b. La culture de pomme de terre (modèle LINTUL/PAPANDES). Atelier Modélisation Environnement, Session N°6, 11-12/12/03, Institut de Recherche pour le Développement, Natures Sciences Sociétés – Dialogues, Montpellier.
- Mita, V. 2006. Aplicación del modelo DSSAT al sistema de cultivo: descanso largo, papa, cebada, cebada en el Altiplano Boliviano. Tesis de Magister Scientiae en Agronomía, Universidad Nacional Agraria de La Molina, Lima. 84 p.

- Pansu, M. 2003. Le devenir de la matière organique dans le sol (modèle MOMOS). Atelier Modélisation Environnement, Session N°6, 11-12/12/03, Institut de Recherche pour le Développement, Natures Sciences Sociétés – Dialogues, Montpellier.
- Pansu, M., L. Sarmiento, K. Metselaar, D. Hervé & P. Bottner. (en prensa). Modelling the transformations and sequestration of soil organic matter in two contrasting ecosystems of the Andes. *European Journal of Soil Science* (05-37).
- Sarmiento, L. 2003. Interface entre données de terrain et calibration/validation des modèles agro-écologiques. Atelier Modélisation Environnement, Session N°6, 11-12/12/03, Institut de Recherche pour le Développement, Natures Sciences Sociétés – Dialogues, Montpellier.
- Sarps, A. 2001. Caractérisation fonctionnelle des principales espèces d'une succession secondaire. Mémoire Ingénieur des Techniques Agricoles, ENITA, Clermont-Ferrand. 40 p.
- Sivila de Cary, R. & W. Angulo. 2001. Tendencias microbianas en agroecosistemas con descansos largos del altiplano boliviano. Pp. 229. En: Resúmenes del cuarto Simposio internacional de desarrollo sustentable en los Andes. La estrategia andina para el siglo XXI. ICAE, Universidad de los Andes, Mérida.
- Sivila de Cary, R. & D. Hervé. 2000. Efecto de leguminosas nativas sobre la microbiota del suelo y el cultivo de papa. Pp. 185-191. XX Reunión Latinoamericana de Rhizobiología y Defensa del Medio Ambiente 22-28 de octubre 2000, Arequipa, Idema-Fondo Perú/Canadá-Alar, Arequipa.
- Sivila de Cary, R. & D. Hervé. 2001. La biota del suelo en sistemas de cultivo con descanso largo. Memorias del Primer Congreso Boliviano de la Ciencia del Suelo, 28-31 de julio 1999. La Paz, 2001, IRD-DFID-COSUDE-CLAS-SBCS: 5-14.
- Zeballos, M., E. García & S. Beck. 2003. Contribución al conocimiento de la flora del departamento de Oruro. Herbario Nacional de Bolivia - Instituto de Ecología - Museo Nacional de Historia Natural, La Paz. 84 p.

En preparación

- Hervé, D., W. Angulo, V. Mita, S. Beck. Root systems and shoot-root ratio of Bolivian altiplano shrubs. *Plant and Soil*.
- Martineau, Y. & B. Saugier. 2006. A process-based model of old-field succession linking ecosystem and community ecology. *Ecological Modelling*.
- Metselaar, K., D. Hervé & J.J. Vacher. Water balance model for agro-ecological studies on the Bolivian Altiplano. *Agricultural Water Management*.
- Ortuño, T., D. Hervé, M. Zeballos, V. Mita, A. Sarps & S. Beck. Biomasa total y asignación de biomasa por las especies vegetales de la sucesión secundaria. *Ecología en Bolivia*.
- Zeballos, M., T. Ortuño & S. Beck. Vegetación y flora de los campos en descanso en el Altiplano boliviano. Herbario Nacional de Bolivia - Instituto de Ecología - Museo Nacional de Historia Natural, La Paz.

Anexo 2: Trabajos anteriores del Instituto de Ecología relacionados con la temática de TROPANDES

- Amurrio P. 1992. Distribución de nitrógeno, fósforo y potasio en especies vegetales típicas de la puna seca de Huaraco (Altiplano Central, Bolivia). Tesis de licenciatura en Biología, Universidad Mayor de San Andrés, La Paz. 140 p.
- Beck, S.G. 1985. Flórula ecológica de Bolivia. Puna semi-árida en el altiplano boliviano. *Ecología en Bolivia* 6: 1-41.
- Beck, S.G. 1988. Las regiones ecológicas y las unidades fitogeográficas de Bolivia. Pp. 233-271. En: C. de Morales (ed.) *Manual de Ecología*. Instituto de Ecología, Artes Graficas Latina, La Paz.
- Bustamante, Z. & M.C. Ruiz 1987. Análisis del contenido de nutrientes en plantas forrajeras del Altiplano central de Bolivia. *Ecología en Bolivia* 10: 49-93.
- Bustamante, Z. & M.C. Ruiz 1988. Nutrientes del cauchi (*Suaeda fruticosa*), forrajera del Altiplano central de Bolivia. *Ecología en Bolivia* 12: 29-38.
- Chilon, E. 1992. Caracterización edafológica de los suelos de la comunidad de Huaraco – Altiplano central. Proyecto Modelo La Paz, COSV Cooperación del Gobierno de Italia, I.H.H. Universidad Mayor de San Andrés, Separata técnica del documento final de evaluación del proyecto, La Paz.
- Ellenberg, H. (ed.) 1971. *Integrated experimental ecology. Methods and results of ecosystem research in the German Solling Project*. *Ecological Studies* 2, Springer, Heidelberg. 214 p.
- Ellenberg, H. 1979. Man's influence on tropical mountain ecosystems in South America. The second Tansley Lecture. *Journal of Ecology* 67: 401-416.
- Ellenberg, H. 1981. Desarrollar sin destruir. Respuestas de un Ecólogo a 15 preguntas de agrónomos y planificadores Bolivianos. Instituto de Ecología, Universidad Mayor de San Andrés, La Paz. 55 p.
- Ellenberg, H. 1982. *Ecología – Ciencia multidisciplinaria e integrada*. *Ecología en Bolivia* 1: 1-4.
- Ellenberg, H., R. Mayer & J. Schauer mann (eds.). 1986. *Ökosystemforschung. Ergebnisse des Sollingprojektes 1966-1986*. Ulmer, Stuttgart. 507 p.
- Ellenberg, H., J. D. Ovington, J. B. Cragg & P. Duvigneaud. 1964. *Produktions-Ökologie von Land-Lebensgemeinschaften im Rahmen des Internationalen Biologischen Programms*. Ber. Geobot. Inst. ETH, Stiftung Rübel, 37: 56-73.
- Fisel, U. 1989. Huaraco. Una comunidad campesina en el altiplano central de Bolivia. Observaciones sobre plantas, tierra y vida de la gente. *Ecología en Bolivia* 14: 35-72.
- Fisel, U. & W. Hanagarth. 1983. Estudio Ecológico en una Comunidad del Altiplano Boliviano. Descripción de las interrelaciones físico y económico-geográficas. *Ecología en Bolivia* 4: 1-17.
- Gehler, E. 1992. Mineralstoffgehalte von Salzboeden und Halophyten des bolivianischen Altiplano. Dissertation, Georg-August-Universität, Göttingen. 114 p.
- Geyger, E., M. Liberman & J. Lorini. 1992. Ecofisiología de plantas cultivadas y silvestres en el altiplano central de Bolivia. *Ecología en Bolivia* 19: 1-41.
- Hanagarth, W. 1987. *Ökologie und Risikoverteilung in der bäuerlichen Landwirtschaft der Halbtrockenpuna in Bolivien*. *Frankfurter Beiträge zur Didaktik der Geographie*, Tomo X, Frankfurt.
- Hanagarth, W. 1989a. Mapa de secuencia de Aynuqas entre 1982 y 1987. Pp. 54-55. En: Lorini, J. (ed.) 1994. Huaraco,

- Comunidad de la Puna. Instituto de Ecología, Artes Gráficas Latina, La Paz.
- Hanagarth, W. 1989b. Ecology and risk-spreading in the small-holding agriculture of the semiarid puna in Bolivia. *Plant Res. and Devpt.* 30:76-103.
- Hanagarth, W. & U. Fisel. 1983. Ökologische Forschung in der Puna des bolivianischen Altiplano – ein erster Überblick. *Festschrift für Heinz Ellenberg. Verhandlungen der Gesellschaft für Ökologie* 11: 185-193.
- Liberman, M. 1987. Uso de la tierra en el Altiplano norte de Bolivia como base para la evolución del impacto ambiental de un proyecto de desarrollo rural. *Rivista di Agricoltura Subtropicale e Tropicale. Istituto Agronomico Per L'oltremare, Florencia.* (1-2): 207-235.
- Liberman, M. 1989. Mapa de uso de la tierra de la comunidad Titicani Tacaca, Cantón Villa Asunción de Machaca. Pp. 82. En: Lorini, J., J. Quintanilla & M. Liberman. 1989. Diagnóstico Ecológico de Titicani - Tacaca, Bolivia, Cantón Jesús de Machaca, Departamento de La Paz. Centro de Estudios Ecológicos y de Desarrollo Integral, La Paz.
- Liberman, M. & U. Fisel. 1983. Uso de la tierra en la región de Huaraco, Antipampa y Pujravi del Altiplano central de Bolivia. *Ecología en Bolivia* 4: 31-42.
- Liberman M. & J. Lorini. 1979. Mediciones de presión de succión en diferentes especies vegetales. Pp. 13. En: Primer Congreso boliviano de biología de Cochabamba, Departamento de Biología, Universidad Mayor de San Simón, Ed. Portales, Cochabamba.
- Liberman, M., J. Lorini, J. Quintanilla & S. Beck. 1987. Proyecto de Riego Huarina - Batallas. Estudio de impacto ambiental. Centro de Estudios Ecológicos y Desarrollo Integral (CEEDI) - GTZ, La Paz. 79 p.
- Lorini, J. 1994. La agroecología y el desarrollo altiplánico. El modelo La Paz - Huaraco. Instituto de Ecología, Universidad Mayor de San Andrés, La Paz. 159 p.
- Lorini, J. & E. Geyger, 1982. Ecofisiología vegetal. *Ecología en Bolivia* 1: 22-23.
- Lorini, J., E. Geyger, M. Liberman, 1984. Ecofisiología de algunas halófitas en un ambiente especial del altiplano central de Bolivia. *Ecología en Bolivia* 5: 1-28.
- Lorini, J. & M. Liberman. 1983. El clima de la provincia Aroma del departamento de La Paz. *Ecología en Bolivia* 4: 19-29.
- Lorini J., J. Quintanilla & M. Liberman. 1989. Diagnóstico ecológico de Titicani-Tacaca, Canton Jesús de Machaca, Bolivia, Departamento de La Paz. Centro de Estudios Ecológicos y de Desarrollo Integral, La Paz. 82 p.
- Morales, C. 1994. Huaraco, Comunidad de la Puna. Instituto de Ecología Universidad Mayor de San Andrés, La Paz. 261 p.
- Ruiz, M. C. 1982. Mineralización del nitrógeno en algunos suelos del departamento de La Paz. Tesis de Licenciatura en Biología. Universidad Mayor de San Andrés, La Paz. 84 p.
- Ruiz, M. C. & Z. Bustamante. 1988. Decomposición de la materia orgánica bajo condiciones controladas. *Ecología en Bolivia* 11: 47-64.
- Ruthsatz, B. 1977. Pflanzengesellschaften und ihre Lebensbedingungen in den Andinen Halbwüsten Nordwest – Argentiniens. *Dissertationes Botanicae* 39: 1-168.
- Ruthsatz, B. 1982. Fitosociología como disciplina de enseñanza e investigación del Instituto de Ecología. *Ecología en Bolivia* 1: 17-21.
- Ruthsatz, B. 1983. Der Einfluss des Menschen auf die Vegetation semiarider tropischer Gebirge am Beispiel der Hochanden. *Ber. Dt. Bot. Ges.* 96: 535-576.
- Ruthsatz, B. & U. Fisel. 1983. The utilization of natural resources by a small community on the highlands of Bolivia and its effects

- on vegetation cover and site conditions. Erdwiss. Forsch. Wiesbaden 18: 211-234.
- Salm, H. 1983a. Estudio preliminar de suelos del altiplano central de Bolivia. *Ecología en Bolivia* 4: 43-57.
- Salm, H. 1983b. La mineralización de nitrógeno en suelos del altiplano central de Bolivia. *Ecología en Bolivia* 4: 59-72.
- Salm, H. 1984. Algunas consideraciones sobre el uso del agua subterránea en una comunidad típica del altiplano central de Bolivia. *Ecología en Bolivia* 5: 29-37.
- Salm, H. & E. Gehler. 1987. La salinización del suelo en el altiplano central de Bolivia y su influencia sobre la cobertura vegetal. *Ecología en Bolivia* 10: 37-48.
- 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.
- Wiesenmüller, J. 1990. Untersuchungen zum Wasserhaushalt andiner Nutz- und Wildpflanzen (Investigaciones sobre el balance hídrico de plantas andinas cultivadas y silvestres). Tesis de diploma, Instituto de Geobotánica, Universidad de Göttingen, Göttingen. 82 p.

Anexo 3: Trabajos anteriores del Institut de Recherche pour le Développement (IRD, ex-ORSTOM) relacionados con TROPANDES

- Ayangma S. & D. Hervé. 1996. Production et utilisation de combustibles dans une communauté agro-pastorale de l'altiplano bolivien. Informe ORSTOM Bolivia N° 50, 1/02/96, IBTA-ORSTOM, La Paz. 37 p.
- Brugioni, I. 1994. Intereses y límites de la aplicación de técnicas de dry-farming para el manejo del descanso en el altiplano boliviano. Pp. 141-153. En: D. Hervé, D. Genin & G. Rivière (eds.). *Dinámicas del descanso de la tierra en los Andes*. Instituto Boliviano de Tecnología Agropecuaria – ORSTOM Institut de Recherche pour le Développement, La Paz.
- Camacho, M. 1995. Dinámica de la composición del rebaño ovino, su relación con la disponibilidad forrajera y la mano de obra en la comunidad de Patarani. Tesis ingeniero agrónomo, Universidad Mayor de San Andrés, Facultad de Agronomía, La Paz. 99 p.
- De Bouet du Portal, D. 1993. Étude des gelées sur l'altiplano bolivien. Mémoire DAA ENSAM, Montpellier. 41 p.
- Esprella, R., D. Hervé & J. Franco. 1994. Control del nematodo quiste de la papa (*Globodera pallida*) por el descanso largo controlado comunalmente, Altiplano central boliviano. Pp. 175-183. En: D. Hervé, D. Genin & G. Rivière (eds.). *Dinámicas del descanso de la tierra en los Andes*. Instituto Boliviano de Tecnología Agropecuaria – ORSTOM Institut de Recherche pour le Développement, La Paz.
- García, M. 1991. Análisis del comportamiento hídrico de dos variedades de quinua frente a la sequía. Tesis de grado, Facultad de Agronomía, Universidad Mayor de San Andrés, La Paz. 126 p.
- Genin, D. & J. Fernandez. 1994. Uso pastoril de las tierras en descanso en una comunidad agropastoril del Altiplano boliviano. Pp. 199-201. En: D. Hervé, D. Genin & G. Rivière (eds.). *Dinámicas del Descanso de la Tierra en los Andes*. Instituto Boliviano de Tecnología Agropecuaria – ORSTOM, La Paz.
- Genin, D., D. Hervé & G. Rivière. 1995. Relation société environnement : la reproduction

- des systèmes de culture à jachère longue pâturée dans les Andes. Les Cahiers de la Recherche Développement 41: 20-30.
- Hervé, D. 1994a. Desarrollo sostenible en los Andes Altos: los sistemas de cultivos con descanso largo pastoreado. Pp. 15-36. En: D. Hervé, D. Genin & G. Rivière (eds.). Dinámicas del descanso de la tierra en los Andes. Instituto Boliviano de Tecnología Agropecuaria – ORSTOM, La Paz.
- Hervé, D. 1994b. Respuestas de los componentes de la fertilidad del suelo a la duración del descanso. Pp. 155-169. En: D. Hervé, D. Genin & G. Rivière (eds.). Dinámicas del Descanso de la Tierra en los Andes. Instituto Boliviano de Tecnología Agropecuaria – ORSTOM, La Paz.
- Hervé, D. 1995. Evolution de la fertilité physique du sol sous jachère. Questions de méthodes. Pp : 73-82. En: IIème réunion du groupe thématique Structure et Fertilité des Sols Tropicaux, 13/09/94, ORSTOM, Montpellier.
- Hervé, D. & S. Ayangma. 2000. Dynamique de l'occupation du sol dans une communauté agro-pastorale de l'altiplano bolivien. In: Les montagnes d'Amérique Latine: Environnement et aménagement. Revue de Géographie Alpine 88(2): 69-84.
- Hervé, D. & I. Condori. 1996. Efecto de la profundidad de roturación con arado de discos en cultivos de quinua y papa. Altiplano central boliviano. Pp. 74-83. En: D. Hervé, D. Condori & V. Orsag (eds.). Las labranzas en perspectiva. Andes centrales. Informe ORSTOM Bolivia N° 52, Junio 1996, Convenio IBTA-ORSTOM, La Paz.
- Hervé, D., I. Condori, I. Brugioni & G. Fernandez. 1994. Decisiones de labranza, consecuencias sobre el suelo y los cultivos. Problemática del altiplano boliviano. Revista de Agricultura 50(24): 12-22.
- Hervé, D., D. Genin & J. Migueis. 2002. Modelling approach for analysis of agropastoral activity at the one-farm level. Agricultural Systems 71 (3): 187-206.
- Hervé, D., D. Genin & G. Rivière (ed.). 1994. Dinámicas del descanso de la tierra en los Andes. Seminario Internacional 27-29/09/93, IBTA-ORSTOM, La Paz. 356 p.
- Hervé, D., B. Paz, J. Migueis & J.-P. Treuil. 2003. Introduction de la modélisation dans une recherche interdisciplinaire: état et gestion de la jachère dans les Andes. Natures, Sciences, Sociétés 11(3): 243-254.
- Hervé D. & D. Ramos. 1996. Stabilité structurale des sols de l'altiplano bolivien. Effet de la durée de la jachère. Pp. 59-67. En: IIIème réunion du groupe thématique «Structure et Fertilité des Sols Tropicaux», 13/09/95, ORSTOM Institut de Recherche pour le Développement, Montpellier.
- Hervé, D. & G. Rivière. 1998. Les jachères longues pâturées dans les Andes. Acquis interdisciplinaires. Natures, Sciences, Sociétés 6(4): 5-19.
- Hervé D. & G. Rivière. 2000. Gestion individuelle et collective des jachères (Andes). Pp. 293-309. En: Y. Gillon, C. Chaboud, J. Boutrais & C. Mullon (ed.). Du bon usage des ressources renouvelables. IRD, Collection Latitudes 23, Paris.
- Hervé, D. & R. Sivila. 1997. Efecto de la duración del descanso sobre la capacidad de producir de las tierras altas de Bolivia. Pp. 189-199. En: M. Liberman & C. Baied (eds.). Desarrollo Sostenible de Ecosistemas de Montaña: Manejo de Areas Frágiles en los Andes, II Symposium Internacional Desarrollo Sostenible de Ecosistemas de Montaña, 2-12/04/95, Huarina, Bolivia, UNU-PL-480-LIDEMA-Instituto de Ecología, La Paz.

- Le Tacon, Ph. 1989. Manifestation des risques climatiques à l'échelle de l'exploitation agricole, conséquences sur les pratiques paysannes. Cas de l'altiplano bolivien. Mémoire DAA ENSAM-ENSSAA-CNEARC-ORSTOM, Dijon. 130 p.
- Le Tacon, Ph., G. Alliol, J.J. Vacher, R. Bosseno, M. Eldin, E. Imana & R. Maldonado. 1992. Los riesgos de helada para la agricultura en el Altiplano boliviano. En: OMM, Organisation Météorologique Mondiale Symposium/workshop on practical applications of agrometeorology to plant protection 1-10 abril 1992, Asunción.
- Pacheco, L. 1994. El sistema de aynuqa en Pumani. Dinámicas y tendencias. Pp. 271-289. En: D. Hervé, D. Genin & G. Rivière (eds.). Dinámicas del Descanso de la Tierra en los Andes. Instituto Boliviano de Tecnología Agropecuaria – ORSTOM, La Paz.
- Pozo, E. & D. Hervé. 1992. Evaluación productiva de dos sistemas de cultivo de papa en una aynoka de la comunidad de Pumani, Altiplano central de Bolivia. Revista de Agricultura 49(20): 25-33.
- Rivera, D. 1995. Estudio del subsistema de crianza bovino en un sistema de producción a secano. Comunidad Patarani Altiplano central. Tesis ingeniero agrónomo, Facultad de Agronomía, Universidad Mayor de San Andrés, La Paz. 91 p.
- Rivière, G. 1994. Cultura y cultivos. El sistema de aynuqa: memoria e historia de la comunidad (comunidades aymara del altiplano boliviano). Pp. 89-105. En: D. Hervé, D. Genin & G. Rivière (eds.). Dinámicas del descanso de la tierra en los Andes. Instituto Boliviano de Tecnología Agropecuaria – ORSTOM, La Paz.
- Rivière, G., L. Pacheco & D. Hervé. 1996. Espaces, droits et jachères dans une communauté aymara des hauts-plateaux boliviens. Journ. d'Agric. et de Bota. Appl. 37(1): 83-104.
- Sivila de Cary, R. & D. Hervé. 1994. El estado microbiológico del suelo, indicador de una restauración de la fertilidad. Pp. 185-197. En: D. Hervé, D. Genin & G. Rivière (eds.). Dinámicas del Descanso de la Tierra en los Andes. Instituto Boliviano de Tecnología Agropecuaria – ORSTOM, La Paz.
- Vacher, J. J. 1998. Responses of two main Andean crops, quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) and papa amarga (*Solanum juzepczukii* Bukasov) to drought on the Bolivian Altiplano: significance of local adaptation. Agriculture, Ecosystems and Environment 68: 99-108.
- Vacher, J. J., I. Brugioni & T.T. Fellman. 1994. Evolución del balance hídrico invernal en diferentes parcelas de descanso en el altiplano boliviano. Pp. 127-139. En: D. Hervé, D. Genin & G. Rivière (eds.). Dinámicas del descanso de la tierra en los Andes. Instituto Boliviano de Tecnología Agropecuaria – ORSTOM, La Paz.
- Vacher, J. J. & E. Imaña, 1987. Los riesgos climáticos en el altiplano boliviano. OMM-SENHAMI-ORSTOM, La Paz. 30 p.
- Vacher, J. J., E. Imaña & E. Canqui. 1994. Características radiativas y evapotranspiración potencial en el Altiplano Boliviano. Revista de Agricultura (Bolivia) 32: 4-14.