

Impacto de barreras vivas sobre suelos de ladera en los valles inter-andinos de Bolivia. II: efecto sobre la fertilidad del suelo

Brian G. Sims¹ y Félix Rodríguez, V.²

Resumen: La degradación de las laderas cultivadas de la zona interandina de Bolivia, es alarmante. La pérdida física del suelo está bien documentada, pero los cambios químicos son poco conocidos. Entre 1996 y 1999 el Proyecto Laderas en Bolivia llevó a cabo un programa de investigación en finca para determinar la eficacia de las barreras vivas en el control de la erosión. El presente estudio analiza los cambios en nutrientes, pH y materia orgánica en siete sitios empinados en el Departamento de Cochabamba, Bolivia. Se detectaron tendencias en pérdidas de materia orgánica, P, K y Ca, y una reducción en pH. La alta variabilidad de los sitios y el tiempo reducido después del establecimiento de las barreras, hace difícil llegar a recomendaciones concretas.

Palabras claves: Laderas, erosión, pérdida de fertilidad, acidificación

Abstract: The degradation of cultivated hillsides in the inter-Andean region of Bolivia is alarming. Physical soil loss is well documented, but chemical changes are less well known. Between 1996 and 1999, the Hillsides Project in Bolivia conducted a program of on-farm experiments to determine the efficacy of live contour-barriers on the control of erosion. The study analyzes the changes in status of nutrients, pH and organic matter at seven hillside sites in Cochabamba Department, Bolivia. Tendencias were detected in losses of organic matter, P, K y, Ca and for a reduction in pH. The high variability and the limited time available after barrier establishment, make it difficult to arrive at concrete recommendations.

Key words: Hillsides; erosion, fertility loss, acidification

INTRODUCCION

El proceso de degradación en las laderas cultivadas de los valles interandinos es rápido y en muchos casos, casi irreversible. El resultado es una reducción en su productividad debido a cuatro factores (Prado y da Vega, 1992): 1) la degradación de la estructura del suelo; 2) una disminución del contenido de materia orgánica; 3) la pérdida física del suelo; 4) la pérdida de nutrientes. Schwaab *et al.* (1981) señalan que la erosión del suelo es un proceso selectivo, durante el cual se pierden las partículas más pequeñas y menos densas de forma preferencial. Por lo tanto, los cambios en las propiedades del suelo provocados por la erosión producen alteraciones en la fertilidad, y consecuentemente, en su capacidad de sostener una agricultura productiva. Debido a una capacidad de cationes intercambiables más alta en las

fracciones removidas, los nutrientes adsorbidos se pierden en mayor proporción, que con una remoción masiva del suelo (Young, 1989).

Dadas las condiciones degradadas de los suelos en los valles, FAO (1993) recomienda la necesidad que se dé atención fuerte al manejo de suelos y al uso de materia orgánica, incluyendo abonos verdes. Además se recomienda el empleo de prácticas vegetativas para impedir físicamente la pérdida de suelo de las parcelas empinadas. Sims *et al.* (1999) indican que una de ellas, que ha tenido bastante éxito, es el empleo de barreras vivas sembradas al contorno. Las barreras vivas de gramíneas retienen el suelo entre ellas, pero no pueden evitar su movimiento por gravedad, lo cual resulta en un gradiente de fertilidad (Walle y Sims, 1999). El reconocimiento de los gradientes de fertilidad podría

¹ Silsoe Research Institute, Wrest Park Silsoe, Bedford MK45 4HS. R.U. E.mail: brian.sims@bbsrc.ac.uk

² Proyecto de Manejo de Laderas (PROFOCE), Universidad Mayor de San Simón, Cochabamba, Bolivia. E.mail: promasel@supernet.com.bo

resultar en un manejo más intensivo del área entre las barreras, por ejemplo la producción de cultivos de alto valor en el suelo rico encima de ellas, y cultivos resistentes a baja fertilidad en la parte superior.

El Proyecto Laderas en los valles de Bolivia ha investigado la adaptabilidad de especies vegetativas para barreras vivas entre 1996 y 1999. El propósito del presente estudio fue describir los cambios en la fertilidad del suelo debido al efecto de las barreras vivas en los sitios experimentales del Departamento de Cochabamba.

MATERIALES Y METODOS

Las características de las parcelas experimentales están descritas en los cuadros 1 y 2; el diseño experimental ha sido descrito en Sims y Rodríguez (2000) en este número de Ceiba.

Para medir los cambios en fertilidad del suelo entre barreras, se tomaron 10 muestras al azar con un tubo de muestras tipo Hoffer, en cada tratamiento al inicio y al final del experimento. Se tomaron muestras de 0 a 5 cm, y de 5 a 10 cm. Las muestras de cada profundidad fueron agregadas y mezcladas y se analizó una muestra compuesta para cada una. Las muestras fueron analizadas para pH (1:1, Suelo:H₂O); P, K, Ca, Mg disponible (Mehlich-I); MO (Walkley-Black); Kjeldahl N total (Sparks *et al.*, 1996) y clase textural (hidrómetro) (Klute, 1986).

Para el análisis de los datos de fertilidad del suelo se empleó un análisis de varianza con factores representando años, sitios y tipos de barrera viva con todas sus interacciones. La información aparece en Sims y Rodríguez (2000) en este número de Ceiba; los tres años del estudio fueron 1997 a 1999; se establecieron barreras vivas en siete sitios en los valles inter-andinos; y las barreras fueron de pastos (*Phalaris tuberoarundinacea* o *Vetiveria zizanioides*) o arbustos (*Atriplex halimus* o *Spartium junceum* o *Gynoxis oleifolia*).

RESULTADOS Y DISCUSION

Los resultados de laboratorio son indicativos de la tendencia del comportamiento químico del suelo durante el ensayo. Se toma en cuenta la alta variabilidad de los suelos en los Andes y se entiende que en superficies pequeñas de muestreo, solamente se puede mostrar una aproximación de la dinámica del suelo bajo condiciones de barreras vivas. Por lo tanto, el análisis de los datos de contenido de nutrientes en el suelo y los cambios, muestran más una tendencia que datos precisos. Además, el corto tiempo de la investigación (tres años) impide mostrar datos más concretos de esta dinámica. Otro factor que ha tenido un impacto sobre algunos resultados es que los mismos agricultores colaboradores escogieron las parcelas donde se establecieron los lotes experimentales, a veces no fueron los sitios ideales en homogeneidad.

Materia orgánica

Todos los sitios, menos en Pajcha (sitio 4), sufrieron pérdidas de materia orgánica sobre los tres años (Cuadro 3). La interacción de años y sitios se debe principalmente al nivel elevado de materia orgánica en Pajcha que es más grande en 1999, comparado con 1996. El sitio en Pajcha estuvo en descanso durante el ciclo agrícola 1997 a 1999, lo que puede explicar el incremento en el contenido de materia orgánica por la incorporación de la vegetación silvestre que creció durante el barbecho (Pestalozzi, 1997). En cambio todos los demás sitios indican que aun con barreras, se sigue perdiendo materia orgánica y es de esperar que las pérdidas van a ser más grandes en los primeros años después del establecimiento de las barreras.

Como el análisis de varianza mostró una interacción significativa entre años y sitios y entre sitios y tipo de barrera, se presenta el Cuadro 4 que indica las medias del contenido de materia orgánica sobre los dos años y

Cuadro 1. Especies de gramíneas y arbustos / árboles evaluados en Cochabamba, Bolivia.

Comunidad y parcelas	Gramíneas	Arbustivas y asociaciones
Yungataqui 1,2	Falaris (<i>Phalaris tuberoarundinacea</i>)	Atriplex (<i>Atriplex halimus</i>) + falaris
Tirani 3	Vetiver (<i>vetiveria zizanioides</i>)	Retama (<i>Spartium junceum</i>) + falaris
Tirani – Pajcha 4	Falaris	Gynoxis (<i>Gynoxys oleifolia</i>) reemplazado por falaris
Pairumani 5,6	Falaris	Retama + falaris
El Molino 7	Vetiver	Atriplex

Cuadro 2. Características climáticas y edáficas de los sitios experimentales en Cochabamba, Bolivia

No. de parcela	Comunidad	Zona agro-ecológica	Altitud msnm	Temperatura	Precipitación	Suelo		Pendiente %
				media anual TEC	anual mm	Clase ¹	Textura	
1	Yungataqui	Valle cerrado	3460	14	592	III	franco arcillo arenoso	17
2	Yungataqui	Valle cerrado	3420	14	592	VI	franco arcillo arenoso	22
3	Tirani	Valle alto	2900	14	585	VI	franco arenoso	25
4	Pajcha	Puna	4000	6	800	VII	franco migajoso	45
5	Pairumani	Cabecera de valle	3380	8	558	IV	franco arcillo arenoso	29
6	Pairumani	Cabecera de valle	3400	8	558	IV	franco arcillo arenoso	56
7	El Molino	Valle central	2560	17	528	IV	Franco	37

Cuadro 3. Porcentaje de materia orgánica en los siete sitios en Cochabamba, Bolivia, entre 1996 y 1999.

Número y nombre de la comunidad	1996	1999
1, Yungataqui	2.650 (0.215)	1.877 (0.215)
2, Yungataqui	2.550 (0.215)	1.815 (0.215)
3, Tirani	2.225 (0.192)	1.865 (0.192)
4, Pajcha	5.700 (0.215)	7.885 (0.215)
5, Pairumani	2.231 (0.192)	1.797 (0.192)
6, Pairumani	2.400 (0.215)	2.137 (0.215)
7, El Molino	4.200 (0.215)	2.717 (0.215)

Los números entre parentesis son los errores estandares

las dos repeticiones. La interacción entre sitios y barreras mostrada en el Cuadro 4, se debe a los niveles elevados de materia orgánica en los testigos en los sitios 4 (Pajcha) y 6 (Pairumani). Estos niveles están asociados, principalmente, a sus ubicaciones en el terreno. Los testigos ubicados al borde de las parcelas están influenciados por la vegetación nativa que permite mayor incorporación de hojarasca de kewiña (*Polylepis incana*) y paja brava (*Stipa ichu*), lo que eleva el nivel de la materia orgánica. Los testigos de los sitios 1-3, 5 y 7 (Yungataqui, Yungataqui, Tirani, Pairumani y El Molino) muestran reducciones en el contenido por los efectos de la pérdida de materia orgánica en la superficie del suelo y por lo tanto, se observa un efecto positivo de las barreras. El sitio 5 (Pairumani) se mantiene dentro del error estándar.

pH

Los resultados mostrados en el Cuadro 5 son inconsistentes. Los niveles de los sitios 2 (Yungataqui) a 6 (Pairumani) se reducen a través de los años, mientras en el sitio 7 (El Molino) hay un ligero incremento en pH, que se debe a la aparición del horizonte calcáreo del subsuelo. La reducción del pH en los otros sitios está probablemente asociada con la pérdida de materia orgánica y partículas de arcilla, que son preferencialmente erosionadas, y los cationes intercambiables con ellas. El resultado neto es una pérdida de cargas positivas con el resultante aumento de la acidez.

La tendencia hacia la acidificación del suelo probable esté asociada al uso de fertilizantes químicos utilizados por los agricultores; principalmente N, P y K. Con el empleo de estos fertilizantes convencionales, generalmente sólo una parte es absorbida, permaneciendo lo restante en el suelo, y así el residuo tiene efecto acidificante.

El informe de FAO Fertisuelos (1993) sobre la evaluación de la fertilidad del suelo en Bolivia, muestra el estado de las características principales del suelo para el Departamento de Cochabamba. Se observaron pH mayores que 8.0 en la provincia de Esteban Arze, disminuyendo hasta valores fuertemente ácidos menores a 4.5. El contenido de materia orgánica en los suelos es muy bajo. En las provincias de Cercado y Esteban Arze la materia orgánica es menor de 1.0% y entre 1.0 y 2.0% en Tiraque. Dadas las condiciones actuales de los suelos de zona interandina boliviana, FAO Fertisuelos recomienda la necesidad de que se dé atención fuerte al manejo de suelos y al uso intensivo de materia orgánica

Cuadro 4. Porcentaje de materia orgánica en los siete sitios en Cochabamba, Bolivia, sobre los años 1996 y 1999 y las dos repeticiones por año.

Número y nombre de la comunidad	Barrera de pasto	Barrera de pasto y arbusto	Control
1, Yungataqui	2.385 (0.215)	-	2.142 (0.215)
2, Yungataqui	2.335 (0.215)	-	2.030 (0.215)
3, Tirani	2.287 (0.215)	2.300 (0.215)	1.730 (0.215)
4, Pajcha	6.662 (0.215)	-	6.923 (0.215)
5, Pairumani	2.007 (0.215)	1.892 (0.215)	2.055 (0.215)
6, Pairumani	2.007 (0.215)	-	2.530 (0.215)
7, El Molino	4.082 (0.215)	-	2.835 (0.215)

(por ejemplo: estiércoles, compost y abonos verdes). En el manejo de suelos es de gran importancia el uso de la materia orgánica para mejorar su estructura, su fertilidad, su capacidad de retener cationes, disminuir la toxicidad de aluminio, magnesio y otros iones tóxicos, suplir nutrientes para las plantas y aumentar la capacidad de almacenamiento de agua en los suelos.

Fósforo

El contenido de fósforo mostró una interacción significativa entre años y sitios que se puede observar en los sitios 1, 4 y 7 (Yungataqui, Pajcha y El Molino) donde se ha reducido; mientras en los demás sitios aparentemente hay un aumento de los niveles (Cuadro 6). El sitio 7 (El Molino) muestra un proceso acelerado de extracción de nutrientes por el cultivo de alfalfa. El valor está acrecentado por la falta de reposición, y sobre todo por la disminución de la solubilidad del fósforo por el pH alcalino-salino (Cuadro 5).

Los incrementos de P en los sitios 3 y 5 (Tirani y

Pairumani) son asociados con la aplicación de abono orgánico y fertilizantes químicos en los cultivos de papa y maíz y el cultivo de leguminosas como abono verde. El P es fijado como efecto residual en el suelo.

Potasio

Como en el caso de fósforo, los niveles de potasio tienen una interacción significativa entre años y sitios. A excepción del sitio 5 (Pairumani), todos muestran una reducción en el contenido de K (Cuadro 7). En los sitios que producen dos cultivos por año (1 y 2) la pérdida es mayor al igual que el sitio 7 (El Molino) con el cultivo perenne de alfalfa, lo cual indica un efecto de absorción por los cultivos sobre aquella provocada por la pérdida de la capa arable. La reducción en el contenido de K de los sitios 2, 3, 4 y 6 (Yungataqui, Tirani, Pajcha y Pairumani) está asociada a la acidificación del suelo (pH menor a 5.2).

Magnesio

Los niveles de magnesio solamente mostraron diferencias entre sitios, no hubo efecto de tipo de barrera

Cuadro 5. Valores de pH en los siete sitios en Cochabamba, Bolivia, entre 1996 y 1999.

Número de la parcela y nombre de la comunidad	1996	1999
1, Yungataqui	6.58 (0.1072)	6.58 (0.1072)
2, Yungataqui	5.40 (0.1072)	4.88 (0.1072)
3, Tirani	5.78 (0.0957)	5.57 (0.0957)
4, Pajcha	4.70 (0.1072)	3.68 (0.1072)
5, Pairumani	5.10 (0.0957)	4.55 (0.0957)
6, Pairumani	5.60 (0.1072)	4.83 (0.1072)
7, El Molino	7.28 (0.1072)	7.49 (0.1072)

Los números entre paréntesis son los errores estándares

Cuadro 6. Contenidos de fósforo (ppm) en los siete sitios en Cochabamba, Bolivia, entre 1996 y 1999, a 0-10 cm.

Número de la parcela y nombre de la comunidad	1996	1999
1, Yungataqui	23.50 (2.57)	12.75 (2.57)
2, Yungataqui	15.25 (2.57)	16.25 (2.57)
3, Tirani	11.69 (2.29)	18.59 (2.29)
4, Pajcha	17.25 (2.57)	16.50 (2.57)
5, Pairumani	6.12 (2.29)	22.81 (2.29)
6, Pairumani	8.50 (2.57)	16.25 (2.57)
7, El Molino	7.25 (2.57)	0.25 (2.57)

Los números entre paréntesis son los errores estándares

ni cambios sobre tiempo. Los sitios 4, 5 y 6 (Pajcha, Pairumani y Pairumani) tienen los niveles más bajos, mientras el sitio 7 (El Molino) tiene el nivel más alto (408 ppm).

Calcio

Los resultados para el contenido de Ca muestran una interacción entre todos los tres factores (años por sitios por barreras, Cuadro 8). Los datos son difíciles de interpretar. Sin embargo, se aprecia un incremento en los niveles de Ca sobre los años en la mayoría de los casos, aunque estos son considerablemente bajos (excepto

Cuadro 7. Contenidos de potasio (ppm) en los siete sitios en Cochabamba, Bolivia, entre 1996 y 1999, a 0-10 cm.

Número de la parcela y nombre de la comunidad	1996	1999
1, Yungataqui	442.8 (27.8)	331.8 (27.8)
2, Yungataqui	96.8 (27.8)	26.3 (27.8)
3, Tirani	182.0 (24.8)	157.8 (24.8)
4, Pajcha	210.5 (27.8)	131.5 (27.8)
5, Pairumani	158.6 (24.8)	222.7 (24.8)
6, Pairumani	221.5 (27.8)	179.5 (27.8)
7, El Molino	338.5 (27.8)	253.7 (27.8)

Los números entre paréntesis son los errores estándares

Cuadro 8. Niveles de calcio (ppm) en el suelo a 0-10 cm en los siete sitios en Cochabamba, Bolivia.

Número de la parcela y nombre de la comunidad	Tipo de barrera	1996	1999
1, Yungataqui	barrera de pasto	550 (262)	1050 (262)
	C	550 (262)	950 (262)
2, Yungataqui	B	240 (262)	600 (262)
	C	290 (262)	650 (262)
3, Tirani	B	610 (262)	950 (262)
	BPA	630 (262)	1050 (262)
4, Pajcha	C	570 (262)	1000 (262)
	B	120 (262)	400 (262)
5, Pairumani	C	100 (262)	450 (262)
	B	240 (262)	650 (262)
6, Pairumani	BPA	250 (262)	500 (262)
	C	180 (262)	180 (262)
7, El Molino	B	310 (262)	650 (262)
	C	360 (262)	360 (262)
7, El Molino	B	2930 (262)	2000 (262)
	C	2080 (262)	6100 (262)

Nota; B es barrera de pasto; BPA es barrera de pasto y arbusto; C es el Control o Testigo sin barrera. Al final de los tres años sólo se quedaron BPAs en los sitios indicados, los demás habían sido reemplazados por falaris. Los números entre paréntesis son los errores estándares.

en el sitio 7, El Molino) por las condiciones de pH ácidos. Solamente en el tratamiento con barreras en el sitio 7 (El Molino) hubo una reducción asociada a la extracción del cultivo (alfalfa), mientras el incremento en el testigo (tres veces) está asociado al afloramiento del horizonte calcáreo.

Se mantuvieron constantes los niveles de testigo de los sitios 5 y 6 (Pairumani) duplicándose el contenido en el tratamiento con barrera de los mismos sitios. Similar situación se observa en los sitios 1 y 2 (Yungataqui), ocurriendo la duplicación del contenido en ambos tratamientos.

En resumen, el Ca en suelos ácidos se comporta de diferente manera, variando su efecto sobre los cultivos de acuerdo a su concentración y de acuerdo con el compuesto que forma en el suelo en presencia de aniones que predominen. La recomendación en general será el encalado y dependerá de las características de cada sitio.

CONCLUSIONES

La investigación de la relación entre la protección del suelo con barreras vivas y el mejoramiento de la fertilidad, muestra resultados de análisis de suelo a corto plazo (tres años) que impiden llegar a conclusiones concretas y definitivas. Las mediciones de campo en suelos heterogéneos, superficies pequeñas de muestreo,

diferentes sistemas de manejo de suelo, y el lento proceso natural de cambio de las condiciones del suelo, sólo permiten establecer una tendencia de los efectos de las barreras sobre la fertilidad del suelo en cada sitio.

La interpretación del pH, muestra una acidificación del suelo entre años, que afecta de modo notable en la disponibilidad y la absorción de nutrientes por las plantas. Ya que el pH más conveniente para el mejor aprovechamiento de todos los nutrientes está comprendido en el rango de pH de 6 a 7. La acidez del suelo ocurre por la lixiviación de los iones de calcio, magnesio y potasio de las capas superficiales del suelo.

La materia orgánica muestra una tendencia hacia la reducción del contenido hasta llegar a niveles bajos (entre 1.8 y 2.0%), siendo la reducción mucho mayor en el control comparada con barreras vivas en los sitios con mayor intensidad de uso agrícola.

Los contenidos de fósforo, potasio, calcio y magnesio entre años tienden, en general, al descenso, principalmente por la actividad agrícola. Dentro de cada sitio, se observan algunos incrementos en las barreras comparados con el control. Sin embargo, por el tipo de manejo de suelo, la época de muestreo y la diversidad de condiciones ambientales, es difícil llegar a conclusiones generales y concretas.

Reconocimiento: El presente artículo es un rendimiento de un proyecto de investigación (R6621) financiado por el Departamento para el Desarrollo Internacional (DFID) del Reino Unido para el beneficio de países en vías de desarrollo. Los puntos de vista expresados no son, necesariamente, del DFID. Agradecemos a Rodger White de Silsoe Research Institute, Reino Unido, por su valioso apoyo con el análisis estadístico.

LITERATURA CITADA

- FAO. 1993. Evaluación de la fertilidad de los suelos del altiplano, valle central y llanos de Bolivia. Fertilizantes, manejo y nutrición vegetal en sistemas de cultivos. Roma. Informe técnico AG: GCPF/BOL/018/NET.
- Hudson, N. 1973. Soil conservation. Londres. B.T. Batsford. pp 148-152.
- Klute, A. (ed). 1986. Methods of soil analysis. Part 1. Physical and mineralogical methods. SSSA Book Ser. 5. Madison, WI. SSSA and ASA..
- Prado, W. y da Vega, M. 1992. Relación entre erosión y pérdida de fertilidad del suelo. In: Memoria taller "Erosión de suelos en América Latina". Chile. FAO, GCP/RLA/107/JPN. pp 55-79.
- Schwaab, G.O. Frevert, R.K. Edminster, T.W. and Barnes, K.K. 1981. Soil and water conservation engineering. 3rd ed. New York. John Wiley & Sons.
- Sims, B.G., Rodríguez, F., Eid, M. and Espinoza, T. 1999. Biophysical aspects of soil and water conservation in the inter-Andean valleys of Bolivia. Mountain Research and Development 19(4):282-291.
- Sims, B.G. y Rodríguez V., F. 2000. Impacto de barreras vivas sobre suelos de ladera en los valles inter-andinos de Bolivia. I: efecto sobre la erosión. Ceiba 41(1):1-9.
- Sparks, D.L., Page, A.L., Helmke, P.A., Loeppert, R.H., Soltanpour, P.N. and Tabatabai, M.A.(eds). 1996. Methods of soil analysis. Part 3. Chemical methods. Madison, WI. SSSA Book Ser.5. SSSA and ASA.
- Walle, R.J and Sims, B.G. 1999. Fertility gradients in naturally formed terraces on Honduran hillside farms. Agronomy Journal 91:350-53.
- Young, A. 1989. Agroforestry for soil conservation. Wallingford, Oxon, UK. CAB Int.