

Impacto de barreras vivas sobre suelos de ladera en los valles inter-andinos de Bolivia. I: efecto sobre la erosión

Brian G. Sims¹ y Félix Rodríguez V.²

Resumen: La erosión del suelo es un problema serio que afecta los sustentos de los agricultores de pequeña escala que cultivan las laderas semiáridas de los valles inter-andinos de Bolivia. Los agricultores reconocen el problema y han desarrollado algunas prácticas tradicionales para contrarrestar las reducciones de productividad debidas a la pérdida de fertilidad del suelo. Se establecieron barreras vivas, de especies de pastos y arbustos, sobre el contorno en siete sitios, con agricultores colaboradores en un proyecto de investigación participativa. Se hicieron mediciones durante un periodo de tres años del desarrollo de las barreras, el grado de sedimentación y erosión del suelo, y sus cambios de textura. Las barreras estaban bien formadas después de tres años y el proceso de sedimentación, fácilmente visible para los agricultores, les ha motivado para adoptar y adaptar la tecnología. El pasto falaris (*Phalaris tuberarundinacea*) resultó ser la mejor opción desde la perspectiva técnica, y desde el punto de vista de los productores durante su evaluación participativa.

Palabras claves: Productividad del suelo, pequeños productores, semiárido, investigación participativa

Abstract: Soil erosion is a serious problem affecting the livelihoods of small-scale hillside farmers in the semi-arid conditions of the inter-Andean valleys of Bolivia. Farmers are aware of the problem and have developed some traditional practices to counteract their productivity declines due to loss of soil fertility. Live barriers, of grass and shrub species, were established on the contour at seven sites with collaborating farmers in a participatory research project. Measurements were made over a three-year period of barrier development, degree of soil sedimentation and erosion and textural changes. Barriers were well formed after three years and the process of sedimentation, being readily visible to farmers, has encouraged them to adopt and adapt the technology. Phalaris grass (*Phalaris tuberarundinacea*) proved to be the best option from a technical perspective and from the farmers' viewpoint during their participatory evaluation.

Key words: Soil productivity, small farmers, semi-arid; participatory research

INTRODUCCION

La erosión del suelo es un problema muy serio en los valles semiáridos de la región inter-Andina de Bolivia y es especialmente pronunciada en las áreas de agricultura de subsistencia (Céspedes, 1998; Sims *et al.*, 2000a). Para investigar métodos prácticos para combatir la amenaza, en 1996 se inició un programa de investigación participativa con agricultores, en el cual se evaluaron alternativas adoptables en sus propias comunidades.

Se realizaron estudios en tres provincias de valles en el Departamento de Santa Cruz, y en tres provincias del Departamento de Cochabamba, Bolivia. El enfoque fue sobre prácticas vegetativas de bajo costo (barreras vivas sembradas al contorno y leguminosas de cobertura/abono verde). Las barreras sirven para estabilizar las laderas

empinadas cultivadas y las leguminosas para incrementar la fertilidad del suelo estabilizado. El punto de partida fue la preocupación de los agricultores por la reducción en sus rendimientos, y que las respuestas tradicionales a la pérdida de fertilidad de los suelos de laderas fueron de bajo costo en términos de capital y tierra. Estos incluyeron **pircas** (muros de piedra), linderos, surcos al contorno y zanjas de coronación (Sims *et al.*, 2000b). Las familias campesinas de las comunidades colaboradoras iniciales estaban de acuerdo que sería lógico iniciar la investigación con las prácticas vegetativas de bajo costo probadas en el campo en otros países.

El empleo de barreras vivas, establecidas al contorno en parcelas agrícolas, es una práctica de conservación de suelo y agua ampliamente difundida en el mundo (NRC, 1993, 1990; Sims *et al.*, 1999b). Sin embargo, su

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

aplicación en las condiciones semiáridas y frías de los valles inter-Andinos ha sido muy limitada (Céspedes, 1998). La meta del proyecto de investigación fue identificar las especies gramíneas y arbustivas que se adapten a estas condiciones y que fuesen productivas y rentables desde el punto de vista de los agricultores. Con esta finalidad se evaluaron las especies indicadas en el Cuadro 1. Además los agricultores sugirieron otras especies que fueron sembradas al lado de los lotes experimentales, para su observación y evaluación participativa (Sims *et al.*, 1999b).

El propósito del estudio fue describir los logros de las barreras vivas en los sitios experimentales del Departamento de Cochabamba, Bolivia. Los resultados de las investigaciones en leguminosas serán reportados próximamente, mientras que los aspectos de métodos de investigación participativa (Sims y Bentley, 1998) y los aspectos socioeconómicos (Ellis-Jones y Mason, 1999) ya han sido publicados.

MATERIALES Y METODOS

Las mediciones de erosión, sedimentación y características físicas de los suelos se realizaron en siete parcelas experimentales dentro de las propiedades de pequeños productores en el Departamento de Cochabamba, Bolivia, entre 1996 y 1999. Las características climáticas y edáficas de los sitios fueron un poco variables (Cuadro 2).

El diseño empleado fue de lotes divididos con tres tratamientos y dos repeticiones en siete sitios (Cuadro 1). Los tratamientos fueron barreras vivas de pastos (T1) y arbustos (T2) con un largo mínimo de 5 m; y un testigo sin barreras (T3). Cada tratamiento cubrió una superficie de 25-90 m² según la tierra disponible y la distancia entre barreras (establecida por los agricultores). En la práctica el número de barreras dependió del interés mostrado por los agricultores y algunas parcelas fueron establecidas con 10 barreras de 15 m o más de largo. Además, los agricultores pidieron que se establecieran más barreras

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

¹ Según la clasificación del USDA (Landon, 1991; Sys *et al.*, 1991). Clase III: Tierras aptas para la agricultura y riego pero con restricciones severas. Clase IV: Tierras con severas limitaciones con la necesidad de obras de conservación y riego restringido. Clase VI: Tierras generalmente no aptas para la agricultura. Clase VII: Tierras no aptas para agricultura.

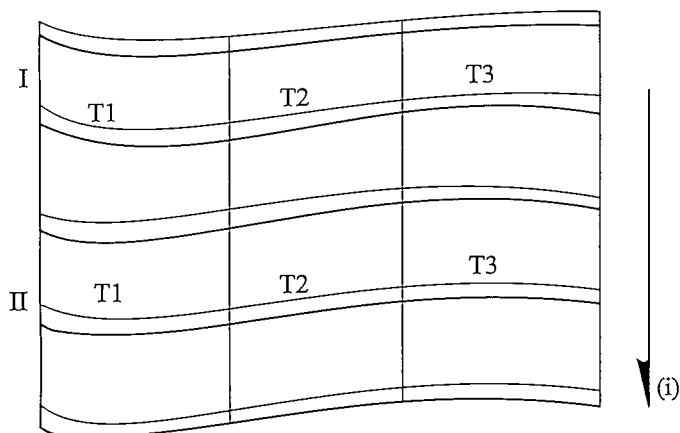


Figura 1. Diseño básico para el establecimiento de barreras vivas (i indica la pendiente). T1 = barrera de pasto; T2 = barrera de arbusto; T3 = testigo

de las especies más prometedoras en el transcurso de la evaluación. Las barreras adicionales no formaron parte del diseño experimental (Figura 1).

Se hicieron algunos cambios en el transcurso del experimento (Cuadro 1). Algunas de las especies arbustivas no funcionaron como barreras con la rapidez deseada, de manera que en el segundo año se agregó *falaris* al atriplex en las parcelas 1 y 2 y a la retama en la parcela 3. El *gynoxis* en la parcela 4 nunca logró el desarrollo esperado debido a las condiciones extremas de la parcela, ya que se está a 4000 msnm (Cuadro 2), lo que restringió el buen enraizamiento de los esquejes. Por lo tanto fue reemplazado por *falaris* a partir del segundo año.

Establecimiento de las barreras

Se trazaron las curvas de nivel con el nivel "A" a una distancia escogida por el agricultor, pero nunca a menos de 4.5 m (LUPE, 1994). Las especies gramíneas *falaris* y *vetiver* fueron establecidas por esquejes distanciados a 10 cm aproximadamente; mientras que las arbustivas atriplex y retama fueron plantas de vivero de un año de edad y transplantadas a 20 cm. Se mantuvieron las barreras libres de malezas durante los primeros dos meses de su establecimiento.

Medición de pendientes, erosión y sedimentación

Las pendientes son fácilmente medidas con un palo de 2 m de largo (uno de los pies del nivel "A") y un nivel de

burbuja. Se acopla el nivel de burbuja sobre el palo plano, y luego se apoya un extremo del palo contra la pendiente y se ajusta hasta que la burbuja se centralice. Luego se mide la distancia vertical (cm) del otro extremo del palo hasta la superficie del suelo. La pendiente en porcentaje es equivalente a la mitad de la distancia vertical medida en centímetros.

Para medir las tasas de erosión y sedimentación en el transcurso de los tres años, se establecieron cuatro estacas de hierro, de 1.5 m de largo, en los dos extremos de la barrera, 15 cm encima y 15 cm debajo de ella. Estas estacas formaron puntos de referencia permanentes y se enterraron a 1 m de profundidad. Al estirar una cuerda entre los rayos cortados en las estacas, se midió la distancia hasta la superficie del suelo a distancias marcadas en la cuerda de 30 cm. Las mediciones fueron tomadas al inicio del experimento (noviembre de 1996) y al final (mayo de 1999) y después de las tres cosechas intermedias. Los cambios en las distancias indican las tasas de acumulación o erosión del suelo.

Cierre de las barreras

Para cada especie se midió el tiempo entre el establecimiento de la barrera hasta su cierre. Se realizaron mediciones de las distancias entre plantas y esquejes a intervalos de un mes para determinar la tasa de cierre de las barreras.

Textura del suelo

Para medir los cambios en textura del suelo entre barreras, se tomaron con un tubo tipo Hoffer 10 muestras al azar en cada tratamiento, al inicio del experimento. Al final de los tres años se tomaron 10 muestras en cada una de tres ubicaciones entre las barreras, a 30 cm debajo de la barrera, en medio, y 30 cm arriba. Se tomaron muestras de 0 a 10 cm de profundidad. Las muestras de cada ubicación fueron agregadas y mezcladas y una muestra compuesta para cada una fue analizada.

Análisis estadístico

Los datos de erosión y sedimentación fueron analizados con el empleo de Probabilidad Máxima Residual (Residual Maximum Likelihood). Esto fue porque los datos no son balanceados, es decir, no se encuentran todas las combinaciones en todos los años en todos los sitios y no fueron muestreados con la misma frecuencia. Los

resultados del análisis son resumidos en cuadros de tres sentidos, por tiempo, tipo de barrera y ubicación de muestreo relativa a la barrera (abajo o arriba, correspondiendo a la erosión y sedimentación, respectivamente). La importancia de los diferentes factores en el análisis es evaluada por los estadísticos de Wald. Estos son estadísticos de sumas de cuadrados y son distribuidos asintóticamente como P^2 con los grados de libertad correspondientes.

Para el análisis de textura se analizaron los datos como proporciones de 100 y se empleó la interacción de más alto valor como el término de error. Si los datos fuesen verdaderamente binomiales, es decir si las respuestas fueran de 100 experimentos individuales, hubiese una estimación independiente del error. Estos datos están en una escala continua entre 0 y 100, de ahí nace el uso del término de error. El análisis procede por incluir sucesivamente los factores y sus interacciones. Para todos estos datos es posible aplicar un modelo que tome en cuenta todas las diferencias en el cuadro, efectivamente por tener un parámetro para cada celda en el cuadro de datos. Esto se llama un modelo saturado y los grados de libertad residuales son cero, tal como la desviación residual (McCullagh y Nedder, 1989).

Al analizar datos como éstos, la destreza reside en la selección del modelo más sencillo que tome en cuenta una cantidad mayor de la variación total (desviación). Los resultados se resumen en un cuadro de "Análisis acumulado de desviación". Una implicación adicional en estos datos es que, debido a los "márgenes" para los factores en los datos son fijos, algunos efectos principales tienen cero desviación, pero esto es algo esperado. Los efectos principales tienen que incluirse antes de agregar los términos de interacción. Del cuadro del análisis de desviación acumulada, se hace la elección de los cuadros de medios que se presentan en los resultados.

Evaluaciones de los agricultores

En reuniones en el ámbito de comunidad y familias campesinas en todos los sitios estudiados, se invitaron a los agricultores a evaluar el concepto de barreras vivas. Se compararon las barreras vivas con otras prácticas locales e introducidas; por medio de ejercicios de matrices e identificación de prioridades se identificaron las prácticas más aceptables (Linzer, s.f.).

RESULTADOS Y DISCUSION

Desarrollo de las especies

Claramente los pastos tuvieron mayor potencial para cerrar la barrera debido a su macollamiento, comparado con las especies de arbustos plantadas solas. Además se observó que el tiempo necesario para formar la barrera completa depende mucho en las condiciones de la parcela (clima, suelo, pendiente) y la intensidad de las prácticas agrícolas. Las parcelas donde las barreras se cerraron en menos tiempo cuentan con riego y producen dos cultivos por año. Las parcelas de secano, con un cultivo por año en parcelas empinadas, no formaron barreras completas antes de los 180 días después de la plantación.

Erosión y sedimentación

El efecto de las barreras sobre la sedimentación del suelo es un proceso lento durante el periodo de su desarrollo. Sin embargo, se observó el proceso de sedimentación inmediatamente arriba de las barreras en la gran mayoría de los casos (no así la erosión que es mucho más difícil detectar visualmente). Después de dos años se compararon los resultados preliminares de todas las parcelas para determinar el comportamiento de cada combinación de tratamientos (Figura 2).

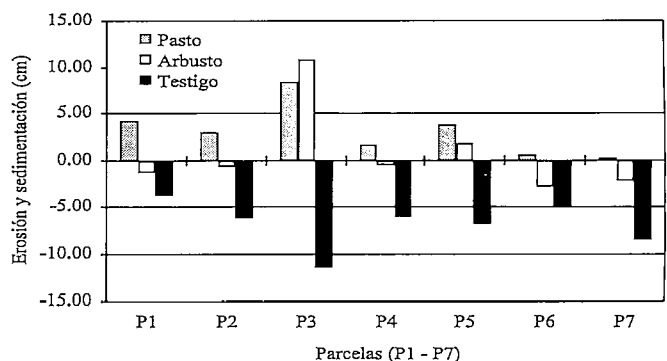


Figura 2. Sedimentación y erosión en cada parcela, con y sin barreras, después de dos años. P1 y P2 = Yungataqui; P3 = Tirani; T4 = Pajcha; P5 y P6 = Pairumani; P7 = El Molino

Al terminar la experimentación en 1999 se analizaron todos los resultados. Para simplificar su presentación, se tomaron tres parcelas que representan el rango encontrado (parcelas 3, 4 y 5 del Cuadro 1).

El Cuadro 3 representa la erosión y sedimentación entre el inicio y el final de los tres años agrícolas en Tirani. La erosión ocurrida se aprecia comparando la distancia desde la línea fija en el primer muestreo, con el segundo, en cada año. Por ejemplo en el año uno, no tenemos una erosión apreciable. En cambio, hubo sedimentación arriba de las barreras. Para vetiver hubo una sedimentación de 3.4 cm de suelo (15.8 - 12.4) y muy poca diferencia entre los resultados de los otros dos tratamientos. En el año dos hubo mayor respuesta de los dos tratamientos de barreras, un proceso que se mantuvo en el tercer año.

Cuadro 3. Distancias (cm) entre la línea fija y la superficie del suelo, 15 cm arriba y debajo de las barreras. Tirani, Cochabamba, Bolivia.

Muestreo	Tratamiento (ver Cuadro 1)	Debajo de la barrera	Arriba de la barrera
1997			
Inicial	vetiver	10.9	15.8
	retama + falaris	18.6	14.4
	testigo	13.4	14.5
	Vetiver	7.7	12.4
Final	retama + falaris	17.5	13.5
	testigo	13.0	15.2
Error estándar de diferencias		3.73	
1998			
Inicial	vetiver	8.3	12.4
	retama + falaris	17.5	13.5
	testigo	17.5	15.1
	vetiver	20.2	8.0
Final	retama + falaris	18.3	5.3
	testigo	12.7	20.7
Error estándar de diferencias		4.22	
1999			
Inicial	vetiver	20.2	8.0
	retama + falaris	18.3	5.3
	testigo	12.7	20.7
	vetiver	17.6	4.9
Final	retama + falaris	s.d.	s.d.
	testigo	14.6	21.1
Error estándar de diferencias		3.14	

s.d = datos perdidos debido al robo de las estacas

En resumen, se detectó poca diferencia en el primer año debido a que fue la época de establecimiento de las barreras. La roturación del suelo (con arado de palo) también tuvo el efecto de esconder movimientos de suelo debido solamente al proceso de erosión y sedimentación. En el segundo año ha habido movimiento de suelo representado por diferencias entre las fechas de muestreo y, también entre la erosión y sedimentación de las parcelas con barreras. En el tercer año el movimiento de suelo es menor y esto se debe a la madurez de las barreras ya bien establecidas con las terrazas formándose visiblemente. Además se debe a que el agricultor estaba respetando mucho más la estructura de las barreras durante la labranza del suelo. El había cambiado de mentalidad y no consideraba las barreras como un

Cuadro 4. Distancias (cm) entre la línea fija y la superficie del suelo, 15 cm arriba y debajo de las barreras. Pajcha, Cochabamba, Bolivia

Muestreo	Tratamiento (Cuadro 1)	Debajo de la barrera	Arriba de la barrera
1997			
Inicial	falaris	23.1	24.4
	Gynoxis	18.8	26.1
	Testigo	16.1	15.5
	Falaris	24.6	24.0
Final	Gynoxis	19.2	24.7
	Testigo	16.0	17.0
Error estándar de diferencias		4.44	
1998			
Inicial	falaris	24.6	24.0
	falaris	19.2	24.7
	testigo	16.0	17.0
	falaris	18.2	25.0
Final	falaris	12.7	27.7
	testigo	17.1	20.5
Error estándar de diferencias		4.47	
1999			
Inicial	falaris	18.2	25.0
	falaris	12.7	27.7
	testigo	17.1	20.5
	falaris	18.2	24.0
Final	falaris	s.d.	s.d.
	testigo	17.6	25.2
Error estándar de diferencias		4.28	

s.d. = datos perdidos debido al robo de las estacas

obstáculo y una pérdida de su área cultivable. Además obtenía beneficios adicionales como forraje.

En Pajcha (la parcela más alta y fría), hubo la menor tasa de crecimiento de las especies. El gynoxis se murió después de un año y fue reemplazado por falaris. Es una parcela con buen potencial productivo, según la calidad de sus suelos, pero limitado por la pendiente. Inició su periodo de descanso a partir del segundo año según la rotación local. En consecuencia, aunque se detectan las ligeras tendencias, había poco movimiento del suelo en el primer año, y no hubo diferencia entre los tratamientos (Cuadro 4). En el segundo año se empezaron a ver diferencias más claras. Sin embargo, lo curioso es que había deposición del suelo debajo de las barreras (por ejemplo, para el pasto falaris 1: 6.4 cm [24.6 - 18.2]) y erosión de 1 cm (26.0 - 25.0) arriba de las barreras. Este fenómeno fue observado solamente en este sitio y se debe al lento desarrollo de las plantas y la pendiente pronunciada

Cuadro 5. Distancias (cm) entre la línea fija y la superficie del suelo 15 cm arriba y debajo de las barreras. Pairumani, Cochabamba, Bolivia

Muestreo	Tratamiento (ver Cuadro 1)	Debajo de la barrera	Arriba de la barrera
1997			
Inicial	Falaris	16.3	23.8
	Retama + falaris	20.6	24.7
	Testigo	22.6	22.9
Final	Falaris	18.7	23.2
	Retama + falaris	22.6	23.4
	Testigo	24.3	24.9
Error estándar de diferencias 1.76			
1998			
Inicial	Falaris	18.7	23.2
	Retama + falaris	22.6	23.4
	Testigo	24.3	24.9
Final	Falaris	19.3	23.1
	Retama + falaris	14.5	25.2
	Testigo	26.2	20.8
Error estándar de diferencias 3,52			
1999			
Inicial	Falaris	19.3	23.1
	Retama + falaris	14.5	25.2
	Testigo	26.1	20.9
Final	Falaris	27.1	7.5
	Retama + falaris	33.3	7.8
	Testigo	30.2	24.1
Error estándar de diferencias 6.06			

de 45% de la parcela. El resultado fue que, las plantas frenaban el caudal de escurrimiento para provocar la deposición del sedimento aguas abajo, pero no para detener el caudal para que se depositara arriba de las barreras.

El comportamiento de las barreras en Pairumani (Parcela 5) fue lo más típico (Cuadro 5). En los primeros dos años hubo un movimiento ligero de suelo mientras las barreras se desarrollaron. En el tercer año el proceso se aceleró con sedimentación de 15.6 y 17.4 cm de suelo para falaris y falaris / retama, respectivamente. Las cifras para erosión para el mismo año fueron 7.8 y 18.8 cm, respectivamente.

Cuadro 6. Análisis de la textura de los suelos (%) en los siete sitios, al inicio del experimento en 1996.

Comunidad	Arcilla	Limo	Arena
Yungataqui	22.3	49.5	28.3
Yungataqui	21.0	47.0	32.0
Tirani	23.8	39.5	36.8
Pajcha	24.8	28.0	47.3
Pairumani	28.8	43.0	28.3
Pairumani	22.5	39.3	38.3
El Molino	36.8	24.8	38.5

e.e. máximo = 0.041

Cuadro 7. Análisis de la textura de los suelos en los siete sitios (%), al final del experimento en 1999.

Comunidad	Arcilla	Limo	Arena
Yungataqui	18.3	42.7	39.0
Yungataqui	19.0	45.3	35.7
Tirani	20.0	41.0	39.0
Pajcha	24.7	38.0	37.3
Pairumani	23.3	42.0	34.7
Pairumani	20.0	37.0	43.0
El Molino	32.3	28.3	39.3

e.e. máximo = 0.014

Cuadro 8. Textura del suelo en tres posiciones entre las barreras (%). Promedios de los siete sitios. 1999

Textura	Posición del muestreo en la barrera		
	30 cm debajo de la barrera	en medio de las barreras	30 cm arriba de la barrera
Arcilla	23.7 (0.008)	22.3 (0.007)	21.6 (0.007)
Limo	36.9 (0.009)	38.3 (0.009)	42.4 (0.009)
Arena	39.4 (0.009)	39.4 (0.009)	36.0 (0.009)

Los números entre paréntesis son los errores estándares

Textura del suelo

Se tomaron los datos de textura al inicio de la investigación en 1996 (Cuadro 6). Los análisis se repitieron en 1999 (Cuadro 7) y han sido promediados sobre las tres ubicaciones de muestreo. El análisis para 1999 indica que existe una diferencia significativa en la textura del suelo entre las tres ubicaciones de muestreo (a 30 cm debajo de la barrera; en medio de las barreras; a 30 cm arriba de la barrera) como se indica en el Cuadro 8. Las

Cuadro 9. Concentraciones de arena en tres posiciones entre las barreras (%). Promedios de los resultados de los siete sitios. Cochabamba, Bolivia, 1999.

Posición de la muestra en barrera	Arena (%)
30 cm debajo	13.6 (0.004)
en medio de las barreras	12.9 (0.004)
30 cm arriba	12.1 (0.004)

diferencias entre las posiciones son significantes ($P = 0.05$) e indican que hay menores concentraciones de arena a 30 cm arriba de las barreras. Esta es una indicación del movimiento preferencial de las partículas más finas (arcilla, limo) que se acumulan en esta posición. El Cuadro 9 indica el análisis estadístico.

Considerando que las partículas más finas del suelo se pierden por erosión antes que las gruesas, se realizó un análisis de las proporciones relativas de las distintas clases de arena en cinco parcelas (Cuadro 10). Hubo una diferencia significativa ($P = 0.05$) entre las fracciones globales entre los dos años (Cuadro 11). Se aprecia que el nivel de arcilla se redujo, el limo se mantuvo y la fracción de arena incrementó con el tiempo.

Observaciones de los agricultores

Si nuestra meta es lograr la sostenibilidad de la producción agrícola, la participación del agricultor es

Cuadro 10. Clasificación de las partículas de arena en cinco parcelas experimentales. Cochabamba, Bolivia, 1999.

Comunidad	Posición de la muestra en la barrera	Arenas (%)		
		Gruesa (0.5 mm)	Media (0.25 mm)	Fina (0.10 mm)
Tirani	30 cm debajo	16.0	5.2	18.8
	en medio de las barreras	12.6	5.6	21.8
	30 cm arriba	9.4	4.6	2.3
Pajcha	30 cm debajo	13.2	6.4	20.4
	en medio de las barreras	12.4	5.4	19.2
	30 cm arriba	13.2	6.6	15.2
Pairumani	30 cm debajo	3.4	1.8	32.8
	en medio de las barreras	4.0	2.6	25.4
	30 cm arriba	3.2	2.4	28.4
Pairumani	30 cm debajo	7.4	4.6	34.0
	en medio de las barreras	6.6	4.4	34.0
	30 cm arriba	6.4	4.6	27.0
El Molino	30 cm debajo	14.0	11.2	14.8
	en medio de las barreras	13.0	9.8	17.2
	30 cm arriba	12.2	10.0	15.8

Cuadro 11. Comparación del análisis de textura global de los siete sitios (%), Cochabamba, Bolivia, de 1996 y 1999.

Textura	Año	Posición del muestreo		
		30 cm debajo de la barrera	en medio de las barreras	30 cm arriba de la barrera
Arcilla	1996	dnt	25.7 (0.012)	dnt
	1999	23.7 (0.016)	22.3 (0.016)	21.6 (0.016)
Limo	1996	dnt	38.7 (0.013)	dnt
	1999	36.9 (0.018)	38.3 (0.018)	42.4 (0.019)
Arena	1996	dnt	35.6 (0.013)	dnt
	1999	39.4 (0.019)	39.4 (0.019)	36.0 (0.018)

esencial. Esto asegura que haya un enlace entre la investigación y los conocimientos del ambiente que tiene el agricultor. Al mismo tiempo promueve la adaptación de tecnologías a nuevas situaciones agroclimáticas y socioeconómicas; además, promueve la asociación constante del productor con el proceso de experimentación, la toma de decisiones y el uso de recursos, y una adopción más amplia de tecnologías apropiadas.

Cuando se considera el potencial para la adopción de tecnologías de conservación de suelo y agua, dos juegos de perspectivas son aparentes: aquella del investigador y aquella de los agricultores que participan en la investigación. Suele ser difícil incorporar los criterios de los agricultores ya que están ganando experiencia. Muchas veces se les dificulta la identificación, cuantificación y valoración de los factores que ellos consideran más importantes en términos de adopción futura. Sin embargo, la participación del agricultor permitirá una visión más clara de los recursos claves requeridos y los beneficios de prácticas de conservación de suelo y agua.

Al someter las prácticas a su evaluación participativa, los siguientes criterios emergieron como cruciales para las prácticas de conservación de suelo y agua:

- Tienen que retener el suelo y su humedad e incrementar su fertilidad para aumentar los rendimientos de los cultivos.
- Facilidad de construcción.
- Materiales de construcción o establecimiento fácilmente disponibles.
- Permitir regar fácilmente.
- No debería interferir con los trabajos de campo.
- No debería reducir el área disponible para cultivos.
- Podría emplearse como linderos. Sembradas en medio de los muros de piedra utilizados como control de cárcavas.

En todos los casos barreras vivas con el pasto *falaris* emergieron como la opción favorita. Además fue aparente que los agricultores modificaron el empleo de barreras vivas, reflejando la adaptabilidad del empleo de distintas especies y el talento innovador de los agricultores y las ONGs promoviendo prácticas de conservación de suelo y agua. El empleo y el diseño de barreras vivas solían ser cambiados para satisfacer las necesidades de los sistemas de producción. Algunos usos alternativos incluyeron:

- El establecimiento de barreras o como especies únicas o como mezclas.
- Estabilización de las orillas de acequias de riego y su protección contra material de derrumbes, para así reducir la mano de obra necesaria para su limpieza.
- Como linderos.
- Sembradas encima de muros de piedra o zanjas de coronación para mejorar su estabilidad estructural.
- Sembradas encima de bancales o terrazas en asociación con frutales.
- Sembradas solas, no para conservar, sino como fuente de forraje.

A pesar de que fue demasiado temprano establecer el impacto de barreras vivas sobre los sistemas de producción, algunos cambios fueron aparentes:

- Diversificación de cultivos. Se están sembrando cultivos de más alto valor conforme la fertilidad del suelo se incrementa. Ejemplos específicos ya visibles son: cebolla; tomate; lechuga y flores. Dicha intensificación también requiere cercas para controlar la entrada del ganado y, aunque no está claro hasta que punto la intensificación sea resultado de las barreras o las cercas, es claro que se necesitan las dos para maximizar productividad.
- Incremento en el valor de la tierra conforme aumenta su productividad. Este efecto ha sido el caso particular de las áreas cerca de la ciudad de Cochabamba donde los valores de la tierra se han duplicado.
- Incremento en cultivos asociados (maíz, frijol y otras leguminosas), y más utilización de rotaciones.
- Forraje cortado y llevado a los animales. Como ahora se restringe el acceso de animales a las parcelas cultivadas, algunas parcelas de *falaris* son ahora cortadas y el forraje es usado para alimentar toda clase de ganado (ovinos, bovinos, equinos y conejos). La alimentación de los animales en las parcelas mientras que trabajan, se ve como una ventaja grande.
- Mejor manejo de ganado. Como resultado del forraje mejorado.
- Reducción en el empleo de tierra marginal. Algunos agricultores expresaron un deseo de reducir la labranza de parcelas empinadas de secano, tal vez sembrándolas con *falaris* u otras especies de pastizales adecuados. Esto les permite usar sus parcelas regadas con mayor eficiencia.

- Venta de plantas de barreras. Se ve como una fuente adicional de ingresos.

Estos criterios, identificados por los agricultores, pueden proveer la base para determinar los costos y beneficios y, por tanto, su evaluación económica.

CONCLUSIONES

Las prácticas de conservación de suelo y agua como barreras vivas sembradas al contorno, funcionan bien en un rango amplio de ambientes agroclimáticos y condiciones de suelo (sobre todo en pendientes). En este sentido son aptas para los pequeños productores de ladera en los valles semiáridos de la región inter-Andina. El pasto *falaris* fue la especie favorita desde los puntos de vista de facilidad de establecimiento, rapidez de cierre, producción de forraje y retención del suelo.

El desarrollo de las barreras es lento inicialmente, pero casi desde un principio es posible que los agricultores observen la acumulación de suelo arriba de ellas y la erosión del mismo abajo. La cuantificación de este efecto con ellos (Sims *et al.*, 2000) ofrece una herramienta poderosa en la lucha por diseminar el concepto del valor de conservación de suelo y agua.

Los cambios de la textura del suelo entre las barreras son aparentes después de tres años de establecimiento de las barreras y demuestran el movimiento de las partículas más finas hacía abajo.

La meta principal del mejoramiento de tecnologías de manejo del suelo es contribuir al mejoramiento de los medios de vida rurales. El diseño de estrategias para tal propósito debe tomar en cuenta como mejorar la combinación de las opciones en lugares distintos con agricultores que tienen acceso diferente a los recursos. A pesar de que estudios regionales proveen generalizaciones globales acerca del estado de la degradación de la tierra, es imprescindible reconocer la naturaleza compleja y diversa de los suelos y la necesidad de desarrollar opciones de su manejo que pueden emplearse a los distintos niveles. Esto significa trabajar con agricultores y sus grupos representantes con mayor efectividad y con mayor participación de los actores en la consideración de opciones alternativas de políticas e intervenciones técnicas

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

- Céspedes S., E. 1998. Erosión: El desierto que nos viene. *Procampo* (Bolivia) (82):19-21.
- Ellis-Jones, J. y Mason, T. 1999. Livelihood strategies and assets of small farmers in the evaluation of soil and water management practices in the temperate inter-Andean valleys of Bolivia. *Mountain Research and Development* (USA) 19(3):221-234.
- Linzer, K.A. s.f. El diagnóstico rural participativo: un método para la planificación de proyectos con comunidades rurales. Santa Cruz, Bolivia. Centro de Investigación Agrícola Tropical. Manual para el sistema regional de transferencia de tecnología agropecuaria, módulo 11. 88 p.
- McCullagh, P. and Nedder, J.A. 1989. *Generalized linear models* (Second edition). London. Chapman and Hall.
- NRC (National Research Council). 1993. *Vetiver grass; a thin green line against erosion*. Washington, D.C. National Academy Press. 169 p.
- Sims, B.G. y Bentley, J.W. 1998. Investigación participativa: un juego de herramientas pero no la clave del universo. *Procampo* (Bolivia) (85):16-21.
- Sims, B.G., Walle, R. y Ellis-Jones, J. 1999a. Guía para la investigación en predios de laderas: desarrollo participativo de tecnologías de conservación de suelo y agua. Silsoe, UK. Silsoe Research Institute. Department for International Development, Natural Resources Systems Research Programme. 52 p. ISBN 0 9531282 3 7.
- Sims, B.G., Rodríguez, F., Eid, M. y Espinoza, T. 1999b. Bio-physical aspects of vegetative soil and water conservation practices in the inter-Andean valleys of Bolivia. *Mountain Research and Development* (USA) 19(4):282-291.
- Sims, B.G. y Villarroel, J. 2000. Evaluación participativa de la erosión de suelo en Cochabamba. Cochabamba, Bolivia. Universidad Mayor de San Simón, I Taller Nacional de PROMMASEL. 17-18 agosto. 9 p.
- Sims, B.G., Ellis-Jones, J. y Twomlow, S. 2000b. Barreras vivas y otras estructuras para el control de erosión. Curso de siembra directa en pequeñas propiedades. CIMMYT. Cochabamba, Bolivia 2-4 de mayo. 12 p.