

Evaluación de la erosión de suelo en los valles interandinos de Bolivia

Brian G Sims¹, Juan Villarroel², Salomón Pérez², Félix Rodríguez²

Resumen: La erosión del suelo es un problema mundial que afecta el sustento de millones de pequeños productores de laderas. El problema es particularmente severo en las condiciones semi-áridas de la agricultura de laderas en los valles inter-andinos de Sur América. Un proyecto de investigación participativa (Proyecto de Manejo Sostenible de Malezas en Laderas-PROMMASEL en Bolivia) está estudiando el manejo de malezas bajo estas condiciones y reconoce que una de las principales causas de la erosión del suelo es la labranza para el control de malezas. Se describen las prácticas tradicionales de control de malezas y los usos de las malezas como forraje para los animales. Se describe la evaluación participativa de los efectos de labranza en laderas junto con técnicas sencillas y fáciles de entender para la cuantificación, de los efectos de erosión en parcelas de agricultores. La medición de sedimentación, pedestales, capas de armadura y pérdida de la capa arable dan estimaciones de pérdidas de suelo entre 19 hasta más que 400 t ha⁻¹ año⁻¹.

Palabras clave: Estimación, laderas, pequeños productores, pérdida de suelo y fertilidad.

Abstract: Soil erosion is a worldwide problem affecting the livelihoods of millions of small holder farmers. The problem is particularly acute in the semi-arid hillside farming conditions of the mid-Andean valley region of South America. A project studying weed management under these conditions (Proyecto de Manejo Sostenible de Malezas en Laderas - PROMMASEL in Bolivia) recognizes that one of the main causes of soil erosion is weed control cultivation. We describe traditional practices for weed control, and the use of weeds as animal feed. The evaluation of the effects of hillside cultivation is described together with simple, easily understood techniques for in-field quantification of erosion. Measurement of sedimentation, pedestals, loss of top soil and stone armor layers give estimates of soil erosion of between 19 and over 400 t ha⁻¹ year⁻¹.

Key words: Estimation, hillside, small farmers, soil and fertility loss.

Introducción

A nivel global, el deterioro de la tierra incluye pérdidas a usos no agrícolas, desertificación y degradación del suelo. Todos son, primariamente, resultados de la actividad humana. Actualmente la degradación del suelo ha llegado a 2 millardos (10⁹) de hectáreas e incluye la erosión hídrica, eólica y la degradación química (Oldeman *et al.*, 1991). Los mismos autores reportan que 14% del área de la tierra en América Latina se encuentra degradada como resultado de las actividades humanas y 30-50% de las tierras agrícolas están afectadas por erosión moderada o severa. Más del 70% del área cultivada ha perdido sobre 25%

de su capacidad productiva. El daño al suelo es más severo en zonas donde la agricultura se ha expandido a terrenos con pendientes, y donde las prácticas tradicionales de conservación de suelo han sido abandonadas.

En Bolivia, la desertificación resultado de la degradación del suelo en zonas áridas, semi-áridas y sub-húmedas, como consecuencia de cambios climáticos y actividades humanas, afecta al 41% del país, ó 450,000 km² (Franche, 1995; MDSMA, 1996). Se estima que 77% de la población boliviana está afectada por la desertificación y, de ellos, 60% vive en la pobreza. Entre 35 y 41% de las áreas agrícolas y pastizales en Bolivia se encuentran afectadas por la erosión (Sims y

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

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

encuentran afectadas por la erosión (Sims y Villarroel, 2000), lo que significa que se pierden alrededor de 18 millardos de toneladas de suelo anuales, resultando en una pérdida constante de la productividad del suelo.

De acuerdo con Franche (1995) las causas específicas de esta desertificación son la labranza tradicional en pendientes fuertes y el riego deficiente. Estas prácticas han producido pérdidas de suelo a gran escala, con la resultante pérdida de productividad y capacidad de retención del agua.

El objetivo principal para hacer la labranza del suelo es el control de malezas, que incluye desde la roturación inicial hasta las escardas. Los productores de ladera usan muchas prácticas para reducir la pérdida de suelo y agua por escurrimiento, ellos usan prácticas tradicionales: pircas (muros de piedra), linderos, surcos al contorno y zanjas de coronación; e introducidas que incluyen: barreras vivas sembradas en contorno, leguminosas de cobertura y abono verde, y terrazas de formación lenta.

Las pérdidas continuas de los rendimientos de los cultivos, debido a las malezas desigualmente distribuidas en los países y agro-ecosistemas (Labrada, 1996), los cambios de la flora de malezas en respuestas al manejo de éstas (Ho, 1991), y la erosión del suelo a través del cultivo excesivo (Garrity, 1993), conllevan a la necesidad de desarrollar sistemas de manejo de malezas que sean sostenibles a través del tiempo. Tal sustentabilidad puede lograrse a través del desarrollo del MIM (Manejo Integrado de Malezas). El MIM es la aplicación de varias tecnologías con el objeto de reducir la cantidad de malezas. En este manejo integrado de malezas se deben incluir los medios culturales, genéticos, mecánicos, biológicos y químicos. Existe la necesidad de evaluar los impactos de la aplicación de distintas prácticas en el control de malezas sobre la población y biomasa de ellas.

El objetivo de este estudio fue evaluar en el campo y con la participación de los agricultores: (1) el papel de las prácticas actuales de manejo de malezas como un contribuyente a la erosión del suelo; (2) las medidas de conservación de suelo existentes; y (3) la estimación de las tasas de erosión en las parcelas de ladera.

Materiales y Métodos

En 1999 se realizó un estudio participativo con técnicos y agricultores, del grado de erosión del suelo en

21 parcelas de cinco comunidades en los valles interandinos del Departamento de Cochabamba, Bolivia. Por medio de entrevistas semi-estructuradas con agricultores se recopiló información acerca de los métodos empleados para el control de malezas y sus usos alternativos.

Estimación de erosión

Para evaluar con el agricultor el impacto de sus prácticas de labranza y medidas de conservación sobre la erosión del suelo y tratar de relacionarlas con la producción de sus cultivos y el manejo de su finca, se realizaron estimaciones de la cantidad de suelo perdido. A continuación se señalan las metodologías empleadas que se basan en las recomendaciones de Stocking y Clark (Stocking y Clark, 1997; Clark *et al.*, 1998; Clark *et al.*, 1999; Stocking y Clark, 1999).

Sedimentación

Cuando existen áreas de sedimentación de suelo contra una barrera natural o una obra de conservación, se puede calcular la acumulación de la siguiente manera (Figura 1):

1. Estimar el ancho de sedimentación por medio de observación del suelo (textura) y el cambio en pendiente de la original, (a) en metros
2. Medir la profundidad de la sedimentación contra la barrera, (p) en metros
3. Calcular el área de la sección de acumulación, (A) en metros cuadrados: $(A = p \cdot a \cdot 0.5)$
4. Volumen de sedimento acumulado por metro de barrera, (V) en metros cúbicos: $(V = A \cdot 1 \text{ m})$
5. Volumen de sedimento acumulado por hectárea, (V^{ha}) en metros cúbicos por hectárea: $(V^{ha} = [V \cdot 10,000 \text{ m}^2]) \div (1 [\text{distancia entre barreras}] \cdot 1 \text{ m})$
6. Masa de suelo acumulado por hectárea, M en toneladas por hectárea: $(M = V^{ha} \cdot 1.3 [\text{densidad del suelo}])$
7. Masa de suelo acumulado por hectárea al año (S) en toneladas por hectárea por año: $(S = M \div \text{edad de la estructura, años})$

La masa de suelo acumulado por hectárea al año (S) nos puede dar una idea de la erosión por hectárea por año, pero sería una estimación no muy precisa, dado que la eficiencia de las barreras nunca es 100%.

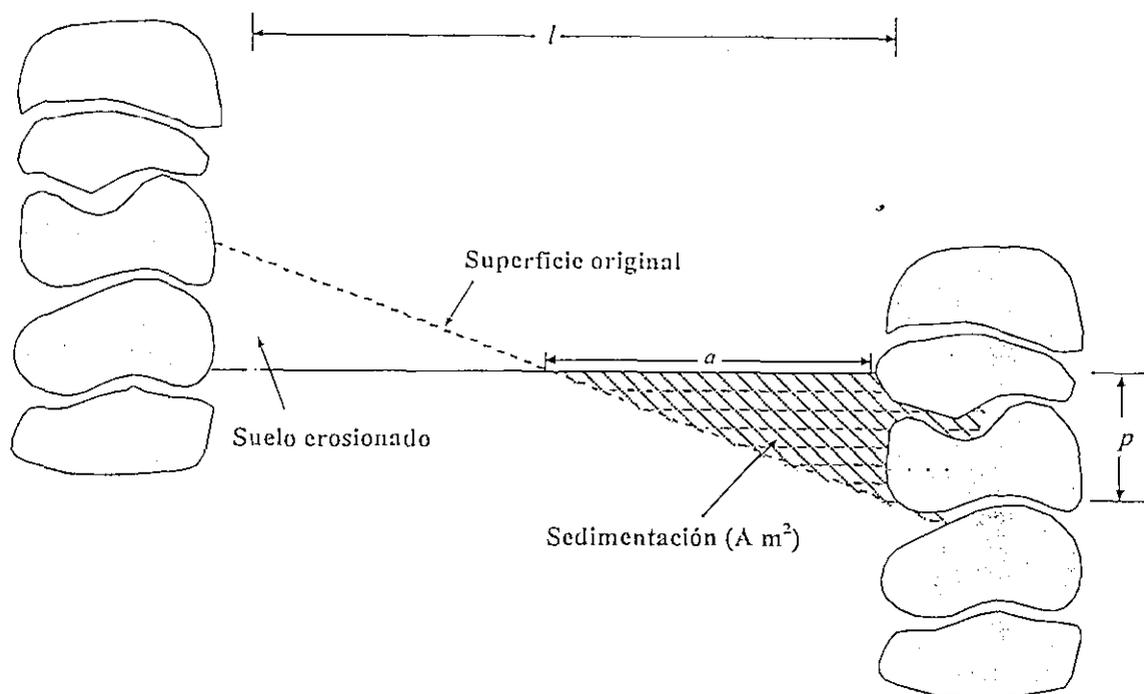


Figura 1. La acumulación de sedimento contra una barrera física con las dimensiones requeridas para estimar la erosión ocurrida (Fuente: Stocking y Clark, 1999).

Pedestales

Los pedestales de suelo se forman debajo de piedras que lo protegen de la energía erosiva de las gotas de agua de lluvia. Al medir la altura del suelo de los pedestales y estimar el porcentaje de cobertura de pedregosidad, se puede estimar el grado de erosión. Esta metodología permite estimar la erosión de terrenos en descanso y sin cobertura. La aproximación abarca la erosión, tanto hídrica como eólica, ocasionada en el suelo durante un período determinado de descanso.

1. Altura media de los pedestales, (h) en mm
2. Estimación de la pedregosidad en la superficie del suelo, (p) fracción del área total, cubierta con piedras
3. Lámina de suelo perdida (C) en metros: ($C = [h \cdot (1-p)] \div 1000$)
4. Volumen de suelo erosionado por hectárea, (V) en metros cúbicos por hectárea: ($V = C \cdot 10,000$)
5. Masa de suelo erosionado por hectárea al año, (S) en

toneladas por hectárea por año: ($S = \{V \cdot 1.3$ [densidad del suelo] \div años desde la última labranza)

Capa de armadura

El número de piedras dejadas sobre una superficie específica del suelo comparado con el número en el perfil del suelo puede indicar el grosor de la capa removida.

1. En una área específica (digamos 100 cm^2 , pero dependería de la población de piedras), contar el número de piedras presentes, (n).
2. Sacar las piedras ubicadas sobre la superficie del suelo.
3. Cavar el suelo a una profundidad de unos 25 mm, y contar el número de piedras presentes, (m) en esa profundidad.
4. Calcular la capa de suelo perdida, (C) mm: ($C = n \cdot 25 \div m$)

5. Calcular el volumen de suelo perdido por hectárea, (V) en metros cúbicos por hectárea: $(V = (C \cdot 10,000) \div 1000)$
6. Calcular la masa de suelo perdida por hectárea, (M) en toneladas por hectárea $(M = V \cdot 1.3$ [densidad del suelo])
7. Calcular el suelo perdido por año, (S) en toneladas por hectárea por año: $(S = M \div \text{años de cultivo del suelo desde el último barbecho})$

Lo más importante es el impacto visual que se puede mostrar al agricultor. Al amontonar las piedras encontradas en la superficie, se puede comparar con el montón más pequeño encontrado en la capa arable, y el volumen de suelo que las contenía. Luego se puede imaginar el volumen más grande de suelo que contenía las piedras superficiales y que ya se ha perdido por la erosión.

Efecto sobre el cultivo

Los cálculos descritos anteriormente sirven para estimar las tasas de movimiento del suelo, pero el efecto sobre la productividad de una parcela agrícola es de suma importancia para el agricultor. En observaciones en el campo es interesante obtener muestras del perfil del suelo en diferentes partes de la ladera, para comparar profundidades y calidades. Un método rápido es medir las alturas de las plantas del cultivo sobre la pendiente. Al graficar los resultados se aprecia el efecto de mayores cantidades de nutrientes y agua en el sedimento abajo. En una parcela de maíz (*Zea mays*) con una pendiente de 22-28% y una tasa de sedimentación de $72 \text{ t ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$, se midieron las alturas de las plantas cada dos pasos (1.6 m aproximadamente) sobre un transecto de 23 m.

Resultados y Discusión

Erosión del suelo

En general, toda la zona estudiada presenta una erosión del suelo muy severa (Céspedes, 1998). Abundan los distintos tipos de erosión y los agricultores han aplicado varios métodos de combatirla (Cuadro 1). En todos los casos las pérdidas de suelo son preocupantes, y son similares al rango encontrado por Clark *et al.* (1999) trabajando con métodos similares en

otras partes del Departamento de Cochabamba, Bolivia.

La participación de los agricultores en las observaciones de los efectos de erosión laminar (pedestales y capas de armadura) ayuda a conceptualizar el daño, normalmente poco visible, de ésta. El agricultor podría acelerar el proceso de adopción de prácticas de conservación de suelo para producir terrazas planas en un tiempo más corto. Este fue el caso de un sitio en Yunkataki donde se habían construido cuatro muros de piedra entre dos linderos antiguos de 40 años (Figura 2).

Los sectores con rotura de suelo y desmalezado a mano con azadón en el primer cultivo de papa (*Solanum tuberosum*), indican una cantidad considerable de movimiento del suelo que la precipitación intensa ha provocado (Cuadro 2).

Claramente las cantidades de suelo erosionado fueron menores en las actuales sub-parcelas (Figura 2), dado que el área contenida entre los muros de 50 m de largo es mucho menor que una hectárea en todos los casos. Este suelo ha sido retenido por las barreras y no ha sido perdido de la parcela.

En el caso de la parcela entera, el cálculo de la acumulación contra el lindero inferior indica el movimiento de la capa superficial durante los últimos 40 años.

Efecto sobre el cultivo

Los resultados (Figura 3) muestran claramente la tendencia a un mejor desarrollo de las plantas en el suelo de la parte baja que es más rico en nutrientes, y donde se colecta más agua. No se precisa efectuar ningún análisis estadístico a los datos dado que el objetivo es mostrarle al agricultor, en forma gráfica, los resultados de la erosión del suelo.

En los valles inter-andinos de Bolivia, el control de las malezas se efectúa manualmente o con animales de trabajo. La principal forma de energía animal es por medio de bueyes con el arado de palo, implementado con la adición de un rastrillo u otras herramientas. Los arados de todos los tipos se consideran como aperos para el control de malezas desde la roturación inicial hasta el surcado y aporcado. El uso de cultivadoras o escardadoras para el control de malezas en cultivos sembrados en hileras no es muy común todavía, aunque hay una demanda creciente.

Cuadro 1. Características y mediciones de erosión en 21 predios en cinco comunidades de Cochabamba, noviembre-diciembre de 1999.

Parámetros estimados	Comunidad (Pendiente %)				
	Boquerón Kasa (19-40)	Kolque Joya (12-20)	Paírumani (19-36)	Piusilla (26-68)	Yunkataki (27-45)
Evidencia de erosión					
Cárcavas	✓	✓	✓	✓	✓
Arroyuelos	✓	✓	✓	✓	✓
Pedestales	✓				✓
Capas de armadura	✓	✓	✓		✓
Sedimentación	✓	✓	✓	✓	✓
Prácticas de conservación					
Pircas	✓	✓			
Linderos	✓		✓	✓	✓
Barreras vivas			✓	✓	✓
Terrazas			✓		✓
Zanjas de coronación					✓
Labranza al contorno					✓
Estimaciones de erosión del suelo, (t ha⁻¹ año⁻¹)					
Sedimentación	55		23-340	32-340	54-97
Capa de armadura	99	65	19-233	107	286
Pedestales	52-65			117-208	
Pérdida de capa arable		488			

Cuadro 2. El movimiento de suelo provocado entre muros de conservación; y la tasa histórica de erosión dentro de la parcela, Yunkataki, Bolivia.

Muro	Profundidad del sedimento contra el muro (m)	Área ^φ de la sección de sedimentación (m ²)	Volumen de sedimento/m de muro (m ³)	Distancia entre muros (m)	Volumen de sedimento (m ³ ha ⁻¹)	Masa de suelo acumulado (t ha ⁻¹)	Masa de suelo acumulado (t ha ⁻¹ año ⁻¹)
1	0.8	0.9	0.9	8.4	1.71	1392	1392
2	0.7	0.7	0.7	5.4	1296	1685	1685
3	0.7	0.5	0.5	5.1	980	1274	1274
4	0.6	0.3	0.3	5.3	566	736	736
5 ^ψ	1.8	3.6	3.6	34.5	1043	1356	34

^φ Ver figura 1^ψ Lindero- el borde antiguo de la parcela

Para el control de malezas, la percepción y la mayor preocupación de los agricultores varía según el cultivo. En los rentables, como la papa, realizan mayor número de escardas con relación a otros cultivos como haba (*Vicia*

faba), arveja (*Pisum sativum*) y los cereales menores. En opinión de los agricultores, para realizar el desmalezado será necesario que la parcela disponga de una buena humedad para evitar el estrés hídrico en el cultivo.

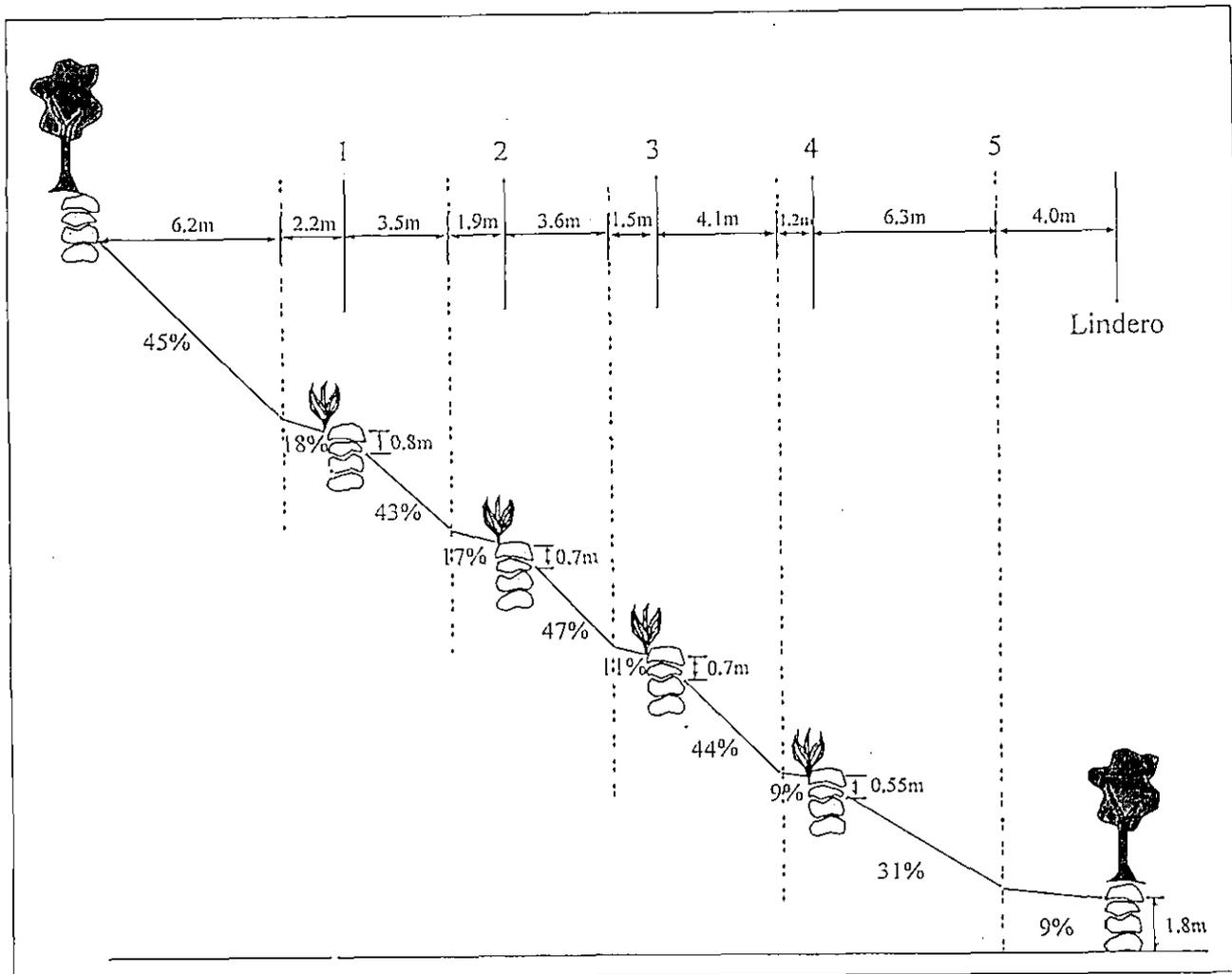


Figura 2. Perfil (no a escala) del movimiento de suelo entre muros de piedra construidos hace dos años entre linderos de 40 años en la localidad de Yunkataquí.

Usos alternativos de malezas

Las malezas cumplen numerosas funciones y una de las principales es la protección y mejoramiento del suelo. Algunas especies son fijadoras de nitrógeno, con capacidad de rebrotar o producir numerosas semillas que se mantienen como un banco de semillas en el suelo hasta la próxima época de siembra. Tal es el caso de la

garrotilla (*Medicago hispida* o *Medicago polymorpha*) indicado por Weik (1988) citado por Chavez (1992), que producen nódulos con la bacteria *Rhizobium* spp. Así también los tréboles (*Trifolium* spp.) nativos que se encuentran en los terrenos de la zona andina. Es así que no se les debe considerar como maleza, debido a su uso como forraje, y como mejoradores de cultivo.

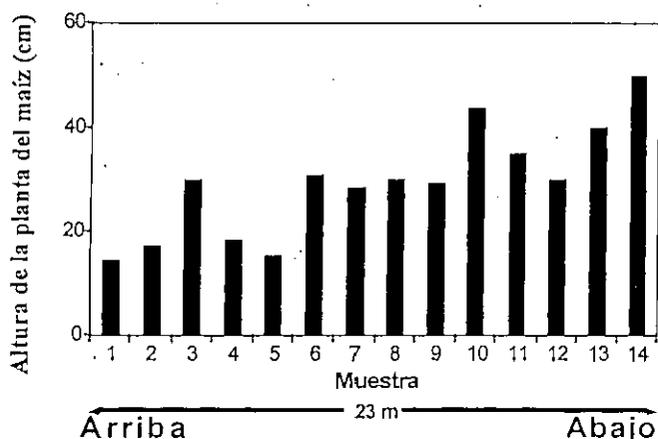


Figura 3. Alturas de plantas de maíz sobre un transecto de una pendiente, Piusilla, 1999.

Las gramíneas naturales como *Stipa* spp., *Bromus* spp., *Festuca dolichophylla*, *Pennisetum clandestinum*, *Eragrostis* spp., *Poa annua*, *Paspalum flavum*, *Cortaderia* spp., entre otras, son también una importante fuente forrajera. Tapia (1990), señaló que los pastizales o vegetación natural, presenta alta biodiversidad en la composición botánica con numerosas especies con potencial forrajero. Así mismo en la zona inter-andina otras especies son utilizadas como forraje, tal es el caso de *Spergula arvensis* (que puede ser henificada), *Stellaria media*, *Brassica campestris*, *Elodea potamogetom*, *Tagetes pusilla*, *Plantago* spp., *Taraxacum* spp., *Solanum radicans*, *Malva* spp., *Bidens* spp., *Sonchus oleraceus* y otros. Especies abundantes como *Rumex acetosella*, *Viguiera lanceolata* y otras, son poco utilizadas.

Conclusiones y Recomendaciones

En visitas a las parcelas de agricultores en cinco comunidades del Departamento de Cochabamba, se han visto los efectos de la roturación del suelo (principalmente para el control de malezas) sobre su erosión y degradación.

La meta de los métodos sencillos empleados para estimar las tasas de erosión, es ilustrar, en forma gráfica y fácilmente entendible, el grado del problema para posibilitar la formulación de estrategias para reducirlo.

La cultivación del suelo en pendientes fuertes (sobre 10%) debería siempre acompañarse por prácticas de conservación. Algunas recomendaciones son:

Labranza reducida. El empleo de cultivación vertical (con implementos de cincel) facilita la infiltración del agua de escurrimiento y así reduce el transporte del suelo.

Controlar las malezas sólo cuando sea necesario para el buen desarrollo del cultivo. Generalmente esto sería durante el primer mes de la vida del cultivo. Después el cultivo puede competir bien con las malezas las cuales, además, son frecuentemente usadas como forraje para el ganado.

Siempre sembrar al contorno para almacenar el escurrimiento durante eventos intensivos de precipitación. Al mismo tiempo, el suelo removido durante las operaciones de escarda se queda en el surco.

El establecimiento de barreras vivas de especies útiles para las familias campesinas. Según sus comentarios estas serían especies de gramíneas y leguminosas aptas para la alimentación del ganado.

Evaluación participativa de escardadoras de tracción animal para el control de malezas en laderas. Si bien el empleo de implementos manuales para el control de malezas es muy eficaz, al mismo tiempo demanda alta mano de obra. Esta situación resulta, a veces, en un control no muy oportuno, en rendimientos bajos, y suelo desprovisto de cobertura protectora después del primer mes de vida del cultivo.

El ejercicio ha demostrado el valor de evaluar el factor de pérdida de suelo y fertilidad con agricultores en sus parcelas. Los agricultores se expresan sumamente preocupados por estos acontecimientos que afectan gravemente al recurso principal que les produce sus sustentos familiares.

Reconocimiento: Esta publicación es un rendimiento de un proyecto de investigación financiado por el Departamento para el Desarrollo Internacional (DFID) del gobierno del Reino Unido para el beneficio de países en vías de desarrollo. Los puntos de vista expresados no son, necesariamente, aquellos del DFID. R7325 Programa de Protección de Cultivos.

Literatura Citada

- Céspedes S., E. 1998. Erosión: El desierto que nos viene. *Procampo (Bolivia)* N°. 82:19-21.
- Clark, R., Durón, G., Quispe, G. and Stocking, M. 1999. Boundary bunds or piles of stones? Using farmers' practices in Bolivia to aid soil conservation. *Mountain Research and Development* 19(3):235-240.
- Clark, R., Durón, G. y Stocking, M. 1998. Evaluación biofísica y económica de la erosión y conservación del suelo. Taller de evaluación: Bolivia. 23-27 de noviembre de 1998. Norwich, R.U. Overseas Development Group, University of East Anglia. 47 p + Anexos.
- Chavez, M.V. 1992. Análisis del sistema de tierras en descanso (barbecho) en las comunidades campesinas de cabecera de valle de la Provincia Tapacari. Tesis Ingeniero Agrónomo, Universidad Mayor de San Simón, Facultad de Ciencias Agrícolas y Pecuarias. Cochabamba, Bolivia. 146 p.
- Frache, M.A. 1995. *Desertificación*. United Nations Development Program. Oficina de Lucha Contra la Desertificación y la Sequía. New York
- Garrity, D.P. 1993. Sustainable land-use systems for sloping uplands in Southeast Asia. In: Ragland, J. and Lal, R. (Eds.) *Technologies for sustainable agriculture in the tropics*. American Society of Agronomy Special Publication p: 41-56.
- Ho, N. 1991 Comparative ecological studies of weed flora in irrigated rice fields in the Muda Area. MADA Monograph N1 44. Malaysia. 97 p.
- Labrada, R. 1996. Weed management status in developing countries. *Second International Weed Control Congress (Copenhagen)* (2):279-590.
- MDSMA. 1996. Mapa preliminar de desertificación de tierras. Región árida, semiárida y subhúmeda seca de Bolivia. Memoria explicativa. Ministerio de Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente (MDSMA). Secretaría Nacional de Recursos Naturales y Medio Ambiente. Dirección de Conservación de Suelos. La Paz, Bolivia. 76 p.
- Oldeman, L.R., Hakkeling, T.A. and Sombroek, W.G. 1991. World map of the status of human-induced soil degradation: An explanatory note. Wageningen: International Soil Reference and Information Centre. Nairobi: United Nations Environment Program. 2nd revised ed. 1:10 M. 3 sheets (130 x 270 cm) folded in A-4 format with explanatory note. Portfolio.
- PRONALDES, 1995. Programa nacional de lucha contra la desertificación y la sequía. Ministerio de Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente (MDSMA). La Paz, Bolivia. 143 p.
- Sims, B.G y Villarroel, J. 2000. Evaluación participativa de la erosión de suelo en Cochabamba. Primer Seminario del Proyecto de Manejo Sostenible de Malezas en Laderas.- PROMMASEL. Facultad de Agronomía, Universidad Mayor de San Simón, Cochabamba, Bolivia. p: 21-29.
- Stocking, M. and Clark, R. 1997. Economic and biophysical assessment of soil erosion and conservation. Training workshop: Sri Lanka 24-28 November 1997. Norwich, UK. Overseas Development Group, University of East Anglia. 31 p + Annexes.
- Stocking, M and Clark, R. 1999. Soil productivity and erosion: biophysical and farmer-perspective assessment for hillslopes. *Mountain Research and Development* 19(3):191-202.
- Tapia, M. E. 1990. Importancia de los pastizales en la producción agrícola y en la economía de los países andinos. Cochabamba, Bolivia. Seminario Pastizales Andinos. REPAAN. p 15-19.