



Experiencias en el manejo integrado de recursos naturales en la subcuenca del río Chimbo, Ecuador

EDITORES:

Víctor Hugo Barrera • Jeffrey Alwang • Elena Cruz

Quito-Ecuador

Noviembre, 2010





GOBIERNO NACIONAL DE
LA REPÚBLICA DEL ECUADOR

Econ. Rafael Correa Delgado
PRESIDENTE CONSTITUCIONAL

Dr. Ramón Espinel
MINISTRO DE AGRICULTURA,
GANADERÍA, ACUACULTURA Y PESCA

Dr. Julio César Delgado Arce
DIRECTOR GENERAL DEL INIAP



Es una institución ecuatoriana encargada de generar, validar y transferir tecnologías apropiadas, orientadas al incremento de la producción y la productividad de los sistemas de pequeños, medianos y grandes productores. Propicia el uso adecuado de los recursos naturales: suelos, agua y biodiversidad, así como la preservación del ambiente, a fin de contribuir al desarrollo sostenible del sector agropecuario.



Es un Programa de la Agencia Internacional de Desarrollo de los Estados Unidos, responsable de apoyar la investigación científica en el manejo integrado de los recursos naturales a nivel mundial, en zonas que están en serios procesos de degradación ambiental.

El SANREM CRSP en Ecuador -Associate (LWA) Cooperative Agreement Number EPP-A-00-04-00013-00- contribuye al manejo de los recursos naturales de la subcuenca del río Chimbo.



Es una institución responsable de fortalecer el sistema nacional de ciencia y tecnología del Ecuador, mediante la creación, conservación y manejo del conocimiento, técnicas y tecnologías para el desarrollo de capacidades y competencias humanas.

Revisión de Texto

Comité de Publicaciones Estación Experimental Santa Catalina del INIAP

PRIMERA EDICION

Documento Técnico No. 2

Fotografías

Técnicos del INIAP

**Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias
Estación Experimental Santa Catalina**

Panamericana Sur km. 1

Casilla: 17-10-340

Quito-Ecuador

Tel: 593-2-300-6140

E-mail: vbarrera70@hotmail.com

Web: www.iniap-ecuador.gov.ec

SANREM CRSP**Virginia Polytechnic Institute and State University**

Office of International Research and Education

526 Prices Fork Road (0378)

Blacksburg, VA 24061

Tel: 1-540-231-6338

Fax: 1-540-231-2439

E-mail: sanrem@vt.edu

Esta obra debe citarse así:

Barrera, V.; Alwang, J. y Cruz, E. 2010 (Eds.). *Experiencias en el manejo integrado de recursos naturales en la subcuenca del río Chimbo, Ecuador*. INIAP-SANREM CRSP-SENACYT. Editorial ABYA-YALA. Quito, Ecuador. 316 pp.

Diseño, diagramación e impresión

Editorial Abya Yala, Telfs: 2 506-251/2 506-267

Noviembre, 2010

Quito-Ecuador

El contenido de este documento técnico es de responsabilidad exclusiva de los autores y no representa necesariamente el punto de vista de las instituciones o personalidades que han colaborado en su formulación y edición.

© Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias, 2010

Primera edición, noviembre 2010

Número de derecho de autor: 034676

ISBN: 978-9978-92-943-8

Índice

- 7 Presentación
- 9 Agradecimientos
- 11 Introducción
(V. Barrera, J. Alwang, E. Cruz)
- 15 Caracterización de la subcuenca del río Chimbo-Ecuador:
microcuencas de los ríos Alumbre e Illangama
(V. Barrera, M. González, L. Escudero, C. Monar)
- 25 Introducción
(V. Barrera, J. Alwang, E. Cruz)
- 39 Caracterización de la subcuenca del río Chimbo-Ecuador:
microcuencas de los ríos Alumbre e Illangama
(V. Barrera, M. González, L. Escudero, C. Monar)
- 69 Enfoques y Modelo en la Gestión de la Subcuenca del río
Chimbo: microcuencas de los ríos Alumbre e Illangama
(V. Barrera, J. Alwang, E. Cruz)
- 89 Estrategias de medios de vida que diferencian a los grupos
de hogares de la subcuenca del río Chimbo, Ecuador
(V. Barrera, J. Alwang, E. Núñez)
- 113 Relaciones de género en las estrategias de vida y toma de
decisiones en la microcuenca del río Illangama
(E. Cruz, F.M. Cárdenas, M. González)
- 133 Viabilidad socio-económica y ambiental del sistema papa-
leche en la microcuenca del río Illangama-Ecuador
(V. Barrera, J. Alwang, E. Cruz)

- 173 • Análisis de la cadena de valor de la leche y sus derivados en la microcuenca del río Illangama
(*E. Cruz, M. Céleri, V. Barrera*)
- 203 • Cambios en políticas y su impacto en el nivel de bienestar de los hogares rurales de la subcuenca del río Chimbo
(*R. Andrade, J. Alwang, V. Barrera*)
- 225 • Análisis de la institucionalidad para el uso y manejo del agua en la subcuenca del río Chimbo
(*V. Barrera, R. Anderson, E. Cruz, L. Escudero, J. del Pozo, H. Borja*)
- 241 • Calidad del agua de los ríos Illangama y Alumbre establecida a través de bioindicadores acuáticos e indicadores físico-químicos
(*J. Calles, W. Flowers, E. Cruz, L. Escudero, C. Monar*)
- 269 • Biodiversidad arbórea y arbustiva en la subcuenca del río Chimbo: microcuencas de los ríos Illangama y Alumbre
(*E. Cruz, F. Chamorro, L. Escudero, C. Monar*)
- 287 • Zonificación agroecológica de las microcuencas de los ríos Illangama y Alumbre: contexto sectores dispersos
(*A. Cárdenas, C. Montúfar*)
- 303 • Evaluación de la pérdida productiva y económica por erosión hídrica en tres sistemas de producción en la microcuenca del río Alumbre, provincia Bolívar-Ecuador
(*F. Valverde, E. Cruz, Y. Cartagena, E. Chela, C. Monar*)
- 309 • Experiencias de la implementación de las mejores prácticas de manejo de recursos naturales en la subcuenca del río Chimbo
(*V. Barrera, E. Cruz, J. Alwang, L. Escudero, C. Monar, H. Fierro, N. Monar*)
- 317 • Lecciones aprendidas y recomendaciones
(*V. Barrera, J. Alwang, E. Cruz*)

Evaluación de la pérdida productiva y económica por erosión hídrica en tres sistemas de producción en la microcuenca del río Alumbre, provincia Bolívar-Ecuador

RESUMEN

En la provincia Bolívar, el 92% de la superficie corresponde a suelos de ladera, de los cuales, el 45% está en condiciones de erosión crítica debido principalmente a las inadecuadas prácticas agropecuarias que unidas a las condiciones climáticas y edáficas de la zona han favorecido este proceso de degradación. La forma más grave de degradación del suelo es la provocada por la erosión hídrica que depende de la cantidad, intensidad, duración, diámetro, velocidad, energía cinética de las gotas de lluvia, nivel de pendiente, cobertura del suelo y deficientes prácticas de conservación. De la microcuenca del río Alumbre, no se registran estudios que cuantifiquen la degradación del suelo causado por la erosión hídrica en los principales sistemas de producción. Por esta razón, se implementó un estudio evaluando el nivel de erosión dentro de los principales rubros productivos de la zona: pasto, maíz y fréjol. Las variables evaluadas corresponden al volumen de agua precipitada, volumen de agua escurrida, peso total de sedimentos en suspensión, coeficiente de escurrimiento, volumen de agua infiltrada, peso total de sedimentos arrasados y el valor actual neto de las posibles pérdidas económicas ocasionadas por la erosión hídrica. Los resultados muestran que el sistema de producción donde se favoreció la pérdida de suelo es el maíz, mientras que en el sistema productivo de pasto se registró la menor cantidad de pérdida. El sistema de producción de pastos favorece la mayor cantidad de infiltración del agua de lluvia. La erosión del suelo no solo genera problemas físicos y ambientales en la microcuenca, sino también pérdidas económicas por la reducción de la productividad de los cultivos de los que depende el sustento familiar.

Palabras clave: capacidad de infiltración; degradación del suelo; escurrimiento superficial; sustento familiar; subcuenca del río Chimbo.

I. INTRODUCCIÓN

En la década de los 90, en el mundo, un 25% de las tierras en uso para la agricultura estaban seriamente degradadas, poniendo en serio peligro la sobrevivencia de millones de familias, especialmente en países en desarrollo. El efecto principal de la degradación del suelo es la reducción en la productividad, lo cual afecta a todos quienes dependen de ella. La forma más grave de degradación del suelo es la provocada por la erosión (Tayupanta y Córdova, 1990; Tayupanta, 1993). En el Ecuador, esta situación se acentúa en la sierra ecuatoriana debido a múltiples factores adversos como el minifundio, el nivel de pendiente, la dependencia total o parcial de insumos externos, cambio de sistemas de producción de cultivos asociados y policultivos por monocultivos, reducción de la diversidad de especies cultivadas, deficientes prácticas de conservación de suelos y falta de políticas e incentivos para la conservación del ambiente (Monar, 2007).

Los indicadores estadísticos del grado de erosión de las cuencas hidrográficas en la sierra ecuatoriana señalan que un 39,13% es crítica, 28,26% seria, 4,35% moderada, 26,09% potencial y 2,17% normal, dando como efectos graves la pérdida de la biodiversidad, degradación de los suelos, alta sedimentación de los principales reservorios, graves inundaciones de la parte baja de las cuencas (Espinosa, 1993).

La subcuenca del río Chimbo, está conformada por una gran cantidad de microcuencas hidrográficas, con superficies que van desde 2 000 a 13 000 hectáreas y con pendientes entre 50% y 90% (SIGAGRO, 2009). En la subcuenca del río Chimbo, la degradación de los suelos mayormente es ocasionada por la erosión hídrica favorecida por la acción antropogénica a través del desarrollo de actividades productivas con tecnologías inadecuadas en áreas de alta vulnerabilidad física y ambiental (Cruz *et al.*, 2008; PROCIANDINO, 1990). Los procesos de erosión hídrica del suelo, dependen de la cantidad, intensidad, duración de las precipitaciones, el diámetro, la velocidad y energía cinética de las gotas de lluvia, la cobertura vegetal presente entre otras (Hudson, 1971).

La degradación del suelo en las microcuencas de los ríos Illangama y Alumbre, tienen un proceso acelerado debido principalmente al avance de la frontera agrícola, la deforestación y destrucción de la biodiversidad, las

deficientes prácticas de conservación de los suelos, el desarrollo de monocultivos, efectos del cambio climático, el desconocimiento y falta de incentivos para la conservación del capital Natural (Barrera *et al.*, 2008 y Monar, 2007).

En la microcuenca del río Alumbre, no existen estudios actualizados sobre la cuantificación de la degradación del suelo ocasionada por la erosión hídrica dentro de los principales sistemas de producción en esta zona. Por esta razón, a través de esta investigación, se contempla analizar la interacción entre los niveles de precipitación, los sistemas de producción y los niveles de erosión hídrica para diseñar e implementar alternativas tecnológicas dentro de los sistemas productivos locales para disminuir el impacto sobre el recurso suelo de forma directa e indirectamente sobre el recurso agua.

El objetivo general del estudio es *determinar el escurrimiento superficial y la pérdida de suelo por erosión hídrica, en tres sistemas de producción de mayor predominio en la quebrada Bejucal de la microcuenca del río Alumbre*, que se sustenta en el cumplimiento de tres objetivos específicos: 1) determinar la cantidad de suelo que se pierde por efecto del escurrimiento superficial en los sistemas de producción pasto, maíz asociado con fréjol y fréjol en monocultivo; 2) calcular el escurrimiento superficial en los sistemas de producción, y 3) realizar el análisis económico de la reducción en la productividad de los rubros en estudio por efecto de la erosión hídrica.

La hipótesis planteada en este estudio es que *la pérdida de suelo y la escorrentía dentro de los sistemas de producción de pastos, fréjol y maíz en la microcuenca del río Alumbre, es diferenciada por las labores culturales que se realizan para cada uno de ellos*.

II. METODOLOGÍA

La evaluación de la pérdida de suelo por escorrentía se basó en la medición de un sinnúmero de eventos de precipitación producidas en la zona de estudio entre los años 2007 y 2009. Para la selección del sitio se consideró que la pendiente sea mayor del 50%, los impactos de las actividades de los agricultores fueran menores, zonas de producción agrícola y además la facilidad de acceso.

2.1. CARACTERÍSTICAS DE LA UNIDAD EXPERIMENTAL

En esta investigación se utilizó un Diseño de Bloques Completos al Azar (DBCA), con tres tratamientos que consistieron en los cultivos de maíz (variedad local Guate), fréjol en monocultivo (variedad INIAP-412 Toa) y pasto que el agricultor mantenía (kikuyo, establecido desde hace ocho años), con tres repeticiones.



Figura 1. Características de la unidad experimental en la microcuenca del río Alumbre. Subcuenca del río Chimbo-Ecuador, 2007.

El área de la unidad experimental correspondió a $15,87 \text{ m}^2$ (5 m de largo, 3 m de ancho y con un área de recolección de $0,87 \text{ m}^2$ en la sección inferior) (Figura 1). En el sitio central del ensayo se instaló un pluviómetro de cuña para registrar la cantidad de precipitaciones diariamente. Se aisló cada unidad experimental en todo su perímetro con una lámina metálica de 2 mm de espesor, para evitar el ingreso de escurrimiento proveniente de sitios aledaños.

...272

2.2. MUESTREO DEL ESCURRIMIENTO SUPERFICIAL

El período de muestreo correspondió al tiempo de duración de los ciclos productivos de los cultivos de maíz y fréjol. Se registró la cantidad de precipitaciones diarias y escurrimiento de cada evento provocado. Del volumen de agua total colectado en cada tanque recolector se tomó una alícuota homogenizada de un litro. Las alícuotas se procesaron para separar los sólidos mediante el uso de papel filtro colocado en un embudo.

Terminada la filtración, los sedimentos acumulados en el papel filtro se secaron a una temperatura de 60 °C y posteriormente se pesaron en una balanza de precisión. Posteriormente las muestras fueron enviadas al laboratorio del Departamento de Manejo de Suelos y Aguas de la Estación Experimental Santa Catalina del INIAP, para la determinación del análisis químico del contenido de macro y micronutrientes (N, P, K, Ca, Mg, S, Fe, Cu, Mn, Zn y B).



2.3. VARIABLES EVALUADAS

Las variables evaluadas en esta investigación se muestran en el siguiente cuadro.

Cuadro 1.

VARIABLES EVALUADAS PARA DETERMINAR LA PÉRDIDA DE SUELO POR EROSIÓN HÍDRICA EN TRES SISTEMAS DE PRODUCCIÓN EN LA MICROCUENCA DEL RÍO ALUMBRE. SUBCUENCA DEL RÍO CHIMBO-ECUADOR, 2009.

Indicadores	Evaluación	Unidad	Unidades Finales
Volumen de agua por precipitación (VAP)	Uso de pluviómetro de cuña	mm/día	l/UE*
Volumen de agua escurrida (VAE)	VAE = VAT - (Pss x Da); VAT= volumen de agua total medido en los tanques (litros/unidad experimental, agua + sedimentos); Pss = peso de los sedimentos en suspensión contenidos en los tanques (kg/unidad experimental); Da = densidad aparente (g/cc) (Carvajal, 1992 y Vaca, 1990).	l/UE	
Peso total de los sedimentos en suspensión (PTSS)	PTSS = VAE x pss; VAE = volumen de agua escurrido (litros/unidad experimental); pss = peso de los sedimentos en suspensión contenidos en un litro de muestra (g/litro)	gr/UE	
Coefficiente de escurrimiento (C)	C = (VAE)/VAP; VAE = volumen de agua escurrido (litros); VAP = volumen de agua de precipitación (mm)		
Peso total de los sedimentos (PTS _A)	PTS _A = PTS ₁ + PTS ₂ + ... + PTS _n PTS ₁ : Subpeso, total de sedimentos por evento 1 (kg) PTS ₂ : Subpeso, total de sedimentos por evento 2 (kg) PTS _n : Subpeso, total de sedimentos por evento n (kg)	kg/UE	t/ha
Densidad aparente (Da)	Método del cilindro: Da = p/v; p = peso del suelo seco en la estufa a 105 °C por 24 horas (g); v = volumen conocido (cc)	g/cc	
Lámina de suelos erosionados (LEA)	LEA= VE/S; VE=volumen de suelo erosionado (m ³); S=superficie (m ²)	M	Mm
Agua lluvia infiltrada (VAI)	VAI = VAP - VAE VAP: Volumen de agua precipitada (litros/unidad experimental) VAE: Volumen de agua escurrida (litros/unidad experimental)	l/UE	
Contenidos totales de N, P, K, Ca, Mg, S, Fe, Cu, Mn, Zn y B	Contenido total por elemento = contenido reportado de cada elemento x PTS _A PTS _A : Peso total de los sedimentos durante el ciclo productivo		kg/ha

Fuente: Chela, 2009.

*Unidad experimental (área= 15,875 m²)

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. VOLUMEN DE AGUA POR PRECIPITACIÓN (VAP)

El volumen de precipitación registrado durante los ciclos productivos de los años 2007 al 2009 corresponde a 1 008, 1 315 y 1 074 mm, respectivamente durante la época invernal. Las máximas precipitaciones en 24 horas fueron de 42 mm en el mes de marzo en el año 2007; 44 y 50 mm en los meses de febrero y abril, en el año 2009. Estos eventos de máxima precipitación a su vez provocaron el máximo escurrimiento superficial y la mayor erosión del suelo, en el período de estudio.

3.2. VOLUMEN DE AGUA ESCURRIDA (VAE)

La respuesta de los sistemas de producción en relación a la variable VAE fue distinta entre los sistemas. El promedio más alto se registró en el sistema del suelo labrado con 275,82 m³/ha en el año 2009. El sistema bajo el cual se presentó el menor promedio de escurrimiento es el de pasto con 78,54 m³/ha para el año 2007 (Cuadro 2). Estos resultados muestran que el escurrimiento superficial del agua de lluvia y el arrastre del suelo, por efecto de la erosión hídrica, dependen de los sistemas de producción.

Cuadro 2.

ADEVA y prueba de Tukey para el volumen de agua escurrida en la microcuenca del río Alumbre. Subcuenca del río Chimbo-Ecuador, 2009.

Tratamientos	m ³ /ha		
	2007	2008	2009
Testigo suelo labrado		232,96	275,82 a
Fréjol voluble	260,86 a	166,55	69,33 b
Pasto natural	78,54 b	141,94	83,03 b
Maíz duro	190,90 a	113,62	74,03 b
Promedio	176,77	163,77	125,55
CV (%)	21,82	27,47	13,58
Valor de p	0,0110*	0,0754	<0,0001*

Fuente: Programa INIAP-SANREM CRSP-SENACYT, 2009.

* Significación estadística

Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0,05 = \alpha$)

En el sistema de cultivo con suelo labrado se obtuvo el promedio más alto de volumen de agua escurrida durante los años 2008 y 2009, esto se debe fundamentalmente a la remoción constante del suelo y a la falta de una cobertura vegetal que lo proteja. Si bien no es una práctica habitual en campo de los productores, este tratamiento fue necesario incluirlo para visualizar el proceso erosivo en las etapas de preparación del suelo antes de la implementación de los cultivos, además de evaluar el potencial erosivo por efectos de la erosión hídrica en la zona.

Para los sistemas de cultivo de fréjol y maíz, se aprecian una tendencia decreciente en los siguientes años de estudio, debido a que realizaron prácticas de labranza mínima del suelo. Por ejemplo, los productores del lugar aplican herbicida en el mismo día de la siembra y solo se remueve el suelo en los sitios donde se van a depositar las semillas. Esta práctica logra que casi no se remueva el suelo quedando éste menos expuesto a efectos de la escorrentía pese al mayor volumen de agua precipitado.

En el sistema pasto se obtuvo la menor cantidad de escurrimiento, la misma que puede deberse a que esta especie está muy bien adaptada a las condiciones edafoclimáticas de la zona y presenta una excelente cobertura y un abundante sistema radicular que posiblemente contribuyó en el proceso de infiltración del agua, en su retención y almacenamiento en el perfil del suelo.

3.3. PESO TOTAL DE LOS SEDIMENTOS ARRASTRADOS (PTSA)

Al igual que en el anterior indicador, los sistemas de producción incidieron directamente sobre los valores promedios de PTSA registrados. Los niveles más altos de pérdida de suelo se obtuvieron en el sistema suelo labrado con una pérdida de 860,09 kg/ha en el año 2009. En el sistema pasto se registró el menor nivel de pérdida de suelo que alcanzó 20,43 kg/ha en el año 2008 (Cuadro 3).

Cuadro 3.

ADEVA y prueba de Tukey para el peso total de sedimentos arrastrados en la microcuenca del río Alumbre. Subcuenca del río Chimbo-Ecuador, 2009.

Tratamientos	kg/ha		
	2007	2008	2009
Testigo suelo labrado		123,40 a	860,09 a
Fréjol voluble	176,46 b	28,83 b	67,33 b
Pasto natural	21,73 b	20,43 b	76,34 b
Maíz duro	699,63 a	58,39 ab	71,33 b
Promedio	299,27	57,76	268,77
CV (%)	39,41	45,79	36,69
Valor de p	0,0047*	0,0111*	0,0001*

Fuente: Programa INIAP-SANREM CRSP-SENACYT, 2009.

* Significación estadística

Letras distintas indican diferencias significativas ($p <= 0,05 = \alpha$)

De acuerdo a Morgan (1986), las pérdidas tolerables de suelo están alrededor de 11 000 kg/ha, dado que se ha aceptado la proximidad de dicho valor a la tasa máxima de desarrollo del horizonte A bajo condiciones óptimas. Esta cifra podría distanciarse de la realidad en áreas donde las tasas de erosión son naturalmente altas como es el caso de terrenos montañosos con alta precipitación que corresponden a las condiciones generales de Suramérica. Los niveles tolerables de pérdida de suelo bajo criterios económicos y ecológicos oscilan entre 200 y 500 kg/ha al año para zonas montañosas con suelo superficiales (León, 2009).

De acuerdo a estos criterios, en general, la erosión del suelo reportada en el período de evaluación se encuentra dentro del rango aceptado bajo los criterios económicos y ecológicos, sin embargo, los valores de erosión total en la microcuenca del río Alumbre pueden ser superiores puesto que solo se ha evaluado durante la época invernal (4 a 5 meses del año). A esto se sumaría el efecto de la fuerte pendiente de las unidades experimentales

de escurrimiento (66%). En el suelo labrado se registra el mayor nivel de erosión (0,86 t/ha durante el ciclo invernal del año 2009).

Un aspecto importante que considerar, es la gran capacidad de almacenamiento de agua e infiltración que tienen los suelos provenientes de ceniza volcánica clasificados como Anisales, con texturas, franco, franco arenoso y franco limoso, a los cuales corresponden los suelos de este sector, lo cual puede ser que beneficie en la capacidad de infiltración del agua en los diferentes horizontes del perfil de suelo y de esta manera se reduzca el escurrimiento superficial del agua lluvia.

3.4. COEFICIENTE DE ESCURRIMIENTO (C)

El coeficiente de escurrimiento depende de los sistemas de producción evaluados. El coeficiente de escurrimiento más alto se obtuvo en el cultivo de fréjol (0,03), seguido de los coeficientes del cultivo de maíz y suelo labrado (0,02) y el pasto (0,01) (Cuadro 4). El coeficiente de escurrimiento presentó una relación directamente proporcional con el VAE y el VAI.

Cuadro 4.

ADEVA y prueba de Tukey para el coeficiente de escurrimiento en la microcuenca del río Alumbre. Subcuenca del río Chimbo-Ecuador, 2009.

Tratamientos	2007	2008	2009
Testigo suelo labrado		0,02	0,02 a
Fréjol voluble	0,03 a	0,01	0,01 b
Pasto natural	0,01 c	0,01	0,01 b
Maíz duro	0,02 b	0,01	0,01 b
Promedio	0,02	0,01	0,01
CV (%)	17,65	42,42	24,74
Valor de p	0,0026*	0,3161	0,0060*

Fuente: Programa INIAP-SANREM CRSP-SENACYT, 2009.

* Significación estadística

Letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0,05 = \alpha$)

3.5. VOLUMEN DE AGUA LLUVIA INFILTRADA (VAI)

Existió un efecto altamente significativo de los sistemas de producción sobre la variable VAI. El promedio más elevado del volumen de agua infiltrada se registró en el cultivo de maíz (11 346.62 m³/ha) y el menor promedio se registró en el cultivo de fréjol (7 264.17 m³/ha) (Cuadro 5). Existe una relación directamente proporcional entre las variables VAE y VAI. Esto significa que a menor volumen de agua escurrida existe una mayor cantidad de agua infiltrada.

Cuadro 5.
ADEVA y prueba de Tukey para el volumen de agua escurrida en la microcuenca del río Alumbre. Subcuenca del río Chimbo-Ecuador, 2009.

Tratamientos	m ³ /ha		
	2007	2008	2009
Testigo suelo labrado		11 228,98	10 315,76 b
Fréjol voluble	7 264,17 b	11 293,66	10 520,99 a
Pasto natural	7 446,25 ab	11 318,13	10 507,30 a
Maíz duro	7 334,96 a	11 346,62	10 516,30 a
Promedio	7 348,46	11 296,85	10 465,09
CV (%)	0,52	0,40	0,16
Valor de p	0,0110*	0,0788	<0,0001*

Fuente: Programa INIAP-SANREM CRSP-SENACYT, 2009.

* Significación estadística

Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0,05 = \alpha$)

3.6. VALOR ACTUAL NETO DE LA REDUCCIÓN DE LA PRODUCTIVIDAD

En el sistema productivo del maíz, con el material local utilizado (variedad Guate), la lámina de suelo perdida por efectos de la erosión hídrica alcanza los 0,03 cm por ciclo productivo (nueve meses). En el período de modelamiento económico (10 años) se estima que la reducción económica en los ingresos de los hogares por este rubro productivo corresponde a

USD 9 030,89 por hectárea de cultivo; en cambio, el VAN de la reducción económica es de USD 8 209,90 por hectárea (Cuadro 6). En el sistema de producción del fréjol la lámina de suelo erosionada es de 0,001 cm por ciclo productivo (seis meses). La reducción económica en este rubro por la erosión hídrica alcanza el monto de USD 7 690,29 por hectárea y el VAN de este valor corresponde a USD 6 991,18 por hectárea.

Cuadro 6.

Valor Actual Neto del costo económico de las pérdidas en la productividad por efecto de la erosión hídrica¹² en la microcuenca del río Alumbre. Subcuenca del río Chimbo-Ecuador, 2009.

Parámetros	Maíz	Fréjol	Pasto
Grosor del suelo (cm)	20,00	20,00	20,00
Rendimiento (kg/ha/año)	864,00	724,00	7 000,00
Costos (USD/ha/año)	338,00	364,00	85,00
Precio (USD/kg)	0,40	0,80	0,05
Ingresos (USD/kg)	345,60	579,20	350,00
Beneficios netos (USD/ha)	7,60	215,20	265,00
Pérdida del grosor del suelo (cm)	0,03	0,001	0,0004
Pérdida económica por erosión hídrica (USD/ha)	9 030,89	7 690,29	166,01
Valor presente de pérdidas por erosión hídrica en un periodo de 10 años	-8 209,90	-6 991,18	-150,92

Fuente: Programa INIAP-SANREM CRSP-SENACYT, 2009.

En el caso de la pastura naturalizada (*Pennisetum clandestinum*), la lámina de suelo erosionada es de 0,0004 cm por hectárea de pastura en nueve meses de evaluación. La reducción económica por efectos de la disminución

12 Metodología de cálculo de los cambios económicos en la productividad. Estimación de los costos *in situ* de la erosión hídrica. Alpizar, F. 2006. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Valoración económica de los impactos ambientales.

progresiva de la fertilidad de los suelos alcanza el monto de USD 166,01 por hectárea y el VAN es de USD 150,92 por hectárea (Cuadro 6).

De acuerdo a la información del III Censo Agropecuario (2002), en Bolívar se registran aproximadamente 4 616 ha con maíz; 10 525 ha con fréjol y 52 787 ha con pasturas. La reducción en la producción de estos rubros productivos por efectos de la erosión hídrica implicaría una pérdida aproximada de USD 131 390 060 en un período de 10 años. El valor actual neto de esta pérdida correspondería a USD 119 445 682.

IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El mayor escurrimiento superficial se registró en los sistemas suelo labrado seguido de los cultivos de fréjol y maíz. El sistema de suelo labrado, presentó la mayor pérdida de suelo por efectos de la erosión hídrica. En el sistema de producción de la pastura naturalizada se registró el menor escurrimiento superficial del agua lluvia, además de la menor pérdida de suelo por erosión hídrica.

De acuerdo a los resultados obtenidos del indicador PTSA, la erosión del suelo está en función de la cobertura vegetal, las prácticas de manejo del suelo relacionadas con la remoción, el nivel de pendiente, el tipo de suelo, entre otros.

Existe una relación directamente proporcional entre los valores del VAE y del VAI con el coeficiente de escurrimiento. Valores bajos en los coeficientes de escurrimiento señalan un menor riesgo de erosión hídrica del suelo. Existe una relación directamente proporcional entre las variables VAE y VAI. Esto significa que a menor volumen de agua escurrida existe una mayor cantidad de agua infiltrada. El coeficiente de escurrimiento, presentó una relación directamente proporcional con el VAE y el VAI.

El VAN de las pérdidas económicas proyectadas debidas a la erosión hídrica en los sistemas productivos maíz, fréjol y pasto con tecnología del productor en la provincia de Bolívar, estaría alrededor de los USD 119 445 682.

Los componentes que minimizaron la erosión del suelo fueron la alta capacidad de infiltración y retención de agua por el suelo en estudio, los

eventos de precipitación de baja intensidad, la cobertura vegetal sobre la superficie del suelo y la práctica de siembra en labranza de conservación.

Se recomienda continuar con esta investigación en las microcuencas del río Alumbre, para evaluar la pérdida de suelo y consecuentemente la reducción de la productividad, a través de diversos ciclos agrícolas y con diferentes sistemas de producción, lo cual permitirá tener una información consistente.

Realizar un estudio para determinar la reducción económica en los rendimientos por hectárea debido a la pérdida de la profundidad de la capa arable y la reducción de la fertilidad de los suelos utilizados para la producción de los principales rubros productivos en la subcuenca del río Chimbo.

Tomar en consideración otras características físicas, químicas y biológicas como parámetros de evaluación que influyen sobre la degradación del suelo.

Generar espacios para la socialización de la información investigativa generada para motivar y capacitar a los agricultores/as en alternativas tecnológicas que fomenten la conservación de los suelos en la subcuenca.

V. BIBLIOGRAFÍA

- Alpizar, F. 2006. *Valoración económica de los impactos ambientales*. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza - CATIE. Turrialba, Costa Rica.
- Barrera, V.; Alwang, J. y Cruz, E. 2008. *Manejo integrado de los recursos naturales para agricultura de pequeña escala en la subcuenca del río Chimbo – Ecuador: aprendizajes y enseñanzas*. INIAP-SANREMCRSP-SENACYT. Boletín Divulgativo No. 339. Quito, Ecuador. 87 pp.
- Barrera, V.; Alwang, J.; Escudero, L.; Cárdenas, F. 2007. *Manejo de recursos naturales basado en cuencas hidrográficas en agricultura de pequeña escala: el caso de la subcuenca del río chimbo: Estudio de Línea Base*. Proyecto INIAP-SANREM. Guaranda, Ecuador. pp. 11-15.
- Carvajal, M. 1992. *Estudios de la erosión y prácticas de conservación de suelos mediante cuatro parcelas experimentales en Mojanda-Cajas*. Tesis Ing. Agr. Ec. Universidad Central del Ecuador, Facultad de Ciencias Agrícolas. Pág. 31-36.
- Chela, E. 2009. *Evaluación de la pérdida de suelo por erosión hídrica en tres sistemas de producción en la microcuenca de la quebrada Chilcapamba*. Tesis de Ingeniero Agrónomo. Universidad Estatal de Bolívar, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Recursos Naturales y Ambiente. Guaranda-Ecuador. 65 pp.

- Cruz, E.; Barrera, V.; Monar, C.; Escudero, L.; Montúfar, C. y González, D. 2008. *Planificación participativa para el reordenamiento territorial productivo en la subcuenca del río Chimbo – Ecuador basado en los enfoques de gestión integrada de cuencas hidrográficas y medios de vida*. Artículo presentado en el XI Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo, del 29 al 31 de octubre 2008 en Quito-Ecuador. 15 pp.
- Espinosa, P. 1993. *Caracterización por erosión de las cuencas hidrográficas de la sierra ecuatoriana*. Quito. Ecuador, primera edición. pp. 85-98.
- Hudson. 1971. *Conservación de suelo*. Barcelona-España.
- INIAP. 2008. *Sistema de Información Geográfica de la Subcuenca del río Chimbo, Bolívar-Ecuador*. Red de Monitoreo Climático. Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias.
- León, J. 2009. *Métodos experimentales para el seguimiento y estudio de la erosión hídrica*. Consultado en internet el 2 de junio del 2010. Disponible en internet en la página www.unalmed.edu.co.
- Monar, C. 2007. *Informe anual. UVTT/C*. INIAP. Estación Experimental Santa Catalina. Guaranda Ecuador. 22 pp.
- Morgan, R. 1986. *Soil erosion and conservation*. New York: Longman
- PROCIANDINO. 1990. *Manejo y conservación de suelos. Diagnóstico y proyecciones para el PROCIANDINO*. Subprograma Quito, Ecuador. 25 pp.
- SIGAGRO. 2009. *Información temática de la microcuenca del río Alumbre*. Sistema de Información Geográfica Agropecuaria. Quito-Ecuador.
- Tayupanta, J. 1993. *La erosión hídrica: procesos, factores y formas*. Estación Experimental Santa Catalina. INIAP. Boletín Divulgativo No. 229. Quito Ecuador. 12 pp.
- Tayupanta, J. y Córdova, J. 1990. *Algunas alternativas agronómicas y mecánicas para evitar la pérdida de suelo*. Estación Experimental Santa Catalina, INIAP. Publicación miscelánea No. 54. Quito Ecuador. 40 pp.
- Vaca, E. 1990. *Estimación de la erosión hídrica y control mediante barreras de pasto en cultivo de maíz Tumbaco-Pichincha*. Tesis Ing. Agr. Quito, Ecuador. Universidad Central del Ecuador, Facultad de Ciencias Agrícolas. Pág. 43-45.
- Yanchapaxi, G. y Pozo, M. 1995. *Manual ambiental de control de la erosión y conservación de suelos*. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, Ministerio de Bienestar Social, Quito, Ecuador. 178 pp.