

## EVALUACION DE LA PERDIDA DE SUELO POR EROSION HIDRICA EN TRES SISTEMAS DE PRODUCCION EN LA MICROCUENCA DEL RIO ALUMBRE-ECUADOR<sup>1</sup>

E. Chela<sup>2</sup>, C. Monar<sup>3</sup>, F. Valverde<sup>4</sup> y E. Cruz<sup>5</sup>

### RESUMEN

En la provincia de Bolívar, el 92% de la superficie corresponde a suelos de ladera, de los cuales el 45% se encuentran en procesos de erosión crítica, debido principalmente al uso inadecuado de las prácticas agropecuarias asociadas a las condiciones climáticas y edáficas de la zona. La forma más grave de degradación del suelo es la provocada por la erosión hídrica que depende de la cantidad, intensidad, duración, diámetro de la gota de agua, velocidad y 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, el INIAP con el apoyo del SANREM CRSP, implementó un estudio con los principales cultivos de la zona (pasto, maíz y fréjol) en un Diseño de Bloques Completos al Azar con tres tratamientos y tres repeticiones. Las variables que se evaluaron son volumen de agua por precipitación, volumen de agua escurrida, peso total de los sedimentos en suspensión, coeficiente de escurrimiento, volumen de agua infiltrada, peso total de sedimentos por año y la pérdida de macro y micronutrientes. Los resultados muestran que el sistema de producción que favoreció la pérdida de suelo es el maíz. En el sistema de producción de pasto se registró la menor cantidad de pérdida de suelo, por lo cual contribuye a la conservación de este recurso. Los sistemas de producción en los que se registró el mayor escurrimiento superficial corresponden a fréjol y maíz. En el sistema maíz es donde se producen mayores pérdidas de macro y micronutrientes del suelo. El sistema de producción de maíz con niveles altos de precipitación favorece el escurrimiento superficial con mayor arrastre de sedimentos y su incidencia directa sobre la pérdida de fertilidad de los suelos. 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 subcuenca, sino además repercusiones socioeconómicas en los hogares, pérdidas económicas por la reducción de la productividad de los cultivos de los que depende el sustento familiar.

**Palabras claves:** capacidad de infiltración, degradación del suelo, escurrimiento superficial, microcuenca del río Alumbre y subcuenca del río Chimbo.

### INTRODUCCION

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

<sup>1</sup> Estudio que forma parte del programa Manejo integrado de los recursos naturales para agricultura de pequeña escala con base a cuencas hidrográficas: el caso de la subcuenca del río Chimbo, financiado por el programa SANREM CRSP y el Gobierno Nacional del Ecuador a través de la SENACYT.

<sup>2</sup> Estudiante de Ingeniería Agronómica. Universidad Estatal de Bolívar. Becario del programa. INIAP-Estación Experimental Santa Catalina. edwinch2008@yahoo.es

<sup>3</sup> Investigador del INIAP en la provincia de Bolívar. cmonar20@yahoo.es

<sup>4</sup> Investigador del INIAP. Estación Experimental Santa Catalina. frankiniap@yahoo.es

<sup>5</sup> Investigadora del INIAP. Estación Experimental Santa Catalina. ecruz@catie.ac.cr

degradación del suelo es la provocada por la erosión (Tayupanta y Córdova, 1990; Tayupanta, 1993). 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, 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, la degradación de los suelos, alta sedimentación de los principales reservorios y causas de los ríos de la parte baja de las cuencas y con graves inundaciones (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%. 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 ál.*, 2007 y Monar, 2007).

En la microcuenca del río Alumbre, no existen estudios actualizados sobre la cuantificación de la degradación del suelo ocasionado por la erosión hídrica dentro de los principales sistemas de producción en esta zona. Por esta razón, el programa *Manejo integrado de recursos naturales para la agricultura de pequeña escala en la subcuenca del río Chimbo*, a través de esta investigación 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.

Dentro de la gestión del programa también se están analizando las estrategias de vida de los hogares de la subcuenca del río Chimbo y la toma de decisiones dentro de los hogares para la implementación de las alternativas tecnológicas amigables con el ambiente.

### **OBJETIVOS**

#### **Objetivo general**

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.

#### **Objetivos específicos**

- 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
- Calcular el escurrimiento superficial en los sistemas de producción.
- Realizar el análisis económico de la reducción en la productividad de los rubros en estudio por efecto de la erosión hídrica.

## MATERIALES Y METODOS

### Descripción del área

El estudio se realizó en la provincia de Bolívar en la microcuenca del río Alumbre (Figura 1). Esta microcuenca comprende una superficie de 65.5 km<sup>2</sup>. El nivel de pendiente está alrededor del 66% y la precipitación promedio anual corresponde a 1 400 mm. La textura del suelo en el área del estudio es franco limoso con buen drenaje, nivel freático profundo, pH ligeramente ácido, sin salinidad y contenido medio de materia orgánica.



**Figura 1.** Localización de la microcuenca del río Alumbre-Ecuador, 2008.

Los principales sustentos agrícolas en la microcuenca del río Alumbre son el cultivo de maíz (*Zea mays*), el cultivo de fréjol (*Phaseolus vulgaris*) y pasto naturalizado donde la especie dominante es el kikuyo (*Pennisetum clandestinum*). Además, en la zona todavía se observan pequeños rodales de bosques intervenidos con presencia de especies forestales arbóreas y arbustivas nativas.

### Marco conceptual del estudio

El enfoque en el que se enmarca esta investigación es la Gestión Integrada de Cuencas Hidrográficas<sup>6</sup> que hace énfasis en el manejo y conservación del capital Natural mediante el mejoramiento de los capitales Humano, Físico y Social. 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 ál.*, 2008; PROCIANDINO, 1990). Los procesos de erosión hídrica del

<sup>6</sup> Enfoque que promueve el uso apropiado de los recursos naturales buscando un equilibrio entre crecimiento económico, equidad, sostenibilidad integral y el mejoramiento de la calidad de vida de la población (Jiménez *et ál.*, 2006).

suelo, dependen de la cantidad, intensidad, duración de las precipitaciones, el diámetro de las gotas de agua, la velocidad y energía cinética de las gotas de lluvia, la cobertura vegetal presente, entre otras (Hudson, 1971).

### Características del experimento

#### Características de la unidad experimental

Para la ubicación del ensayo (Figura 2) se contemplaron los lineamientos del Diseño de Bloques Completos al Azar (DBCA). Se plantearon tres tratamientos (coberturas vegetales: maíz, maíz asociado con fréjol y pastura naturalizada) con tres repeticiones. Cada unidad experimental de escurrimiento estuvo aislada con una estructura metálica (2 mm de espesor) y protegida en los límites superiores con el propósito de evitar el ingreso de agua procedente de las áreas aledañas a la unidad experimental.



**Figura 2.** Características de la unidad experimental del estudio. Microcuenca del río Alumbre-Ecuador, 2008.

El área de la unidad experimental corresponde a 15,875 m<sup>2</sup> (5 m de largo y 3 m de ancho, más un área de recolección de 0,875 m<sup>2</sup> en la parte inferior) (Figura 2). En el sitio central del ensayo se instaló un pluviómetro de cuña para registrar el nivel de las precipitaciones diariamente. Los tratamientos consistieron en el pasto que el agricultor tenía establecido (kikuyo, establecido desde hace ocho años), el cultivo de maíz (variedad local Guate) y el cultivo de fréjol en monocultivo (variedad INIAP-412 Toa).

#### 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 durante este período el nivel de precipitaciones y el escurrimiento provocado. Del volumen 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. A continuación las muestras fueron enviadas al laboratorio para el correspondiente análisis químico del contenido de macro y micronutrientes presentes.

## **Variables evaluadas**

Las variables evaluadas se muestran en el Cuadro 1.

## **RESULTADOS**

### **Volumen de agua por precipitación (VAP)**

El volumen de precipitación registrado durante el ciclo productivo corresponde a 4 740 m<sup>3</sup>/ha (VAP). Las máximas precipitaciones en 24 horas fueron de 42 mm en el mes de marzo y 41 mm en el mes de abril que a su vez provocaron el máximo escurrimiento superficial y la mayor erosión del suelo en el período de estudio. La precipitación total durante el ciclo productivo de evaluación alcanzó 751 mm (duración de la época invernal).

### **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 del volumen de agua escurrida se registró en el sistema fréjol con 164,14 m<sup>3</sup>/ha. El sistema bajo el cual se presentó el menor promedio de escurrimiento es el sistema pasto con 49,51 m<sup>3</sup>/ha (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.

En el sistema del cultivo de fréjol, se obtuvo el promedio más alto de volumen de escurrimiento. Esto puede deberse a que el ciclo de cultivo del fréjol (seis meses) es más corto en comparación al cultivo de maíz (nueve meses). Además que en la zona se realiza prácticas de labranza mínima del suelo para la siembra de este cultivo. La gente del lugar aplica el herbicida en el mismo día de la siembra y forma pequeños surcos en los que se deposita la semilla. Esta práctica hace que casi no se remueva el suelo quedando menor cantidad de suelo expuesto a efectos de la escorrentía pese al mayor volumen de escorrentía registrado en este cultivo. En el pasto con *Pennissetum clandestinum* se obtuvo la menor cantidad de escurrimiento. Esto puede deberse a que esta especie está muy bien adaptada a las condiciones edafoclimáticas de la zona y se presenta con una excelente cobertura y un abundante sistema radicular que contribuyen a incrementar considerablemente la capacidad de retención y almacenamiento de agua en el perfil del suelo.

### **Peso total de sedimentos en suspensión (PTSS)**

Los sistemas de producción evaluados (coberturas vegetales) incidieron directamente en los valores promedio de sedimentos totales en suspensión evaluados en el agua de escorrentía. El promedio más elevado de sedimentos suspendidos se registró en el maíz, mientras que el menor peso se obtuvo en el pasto (Cuadro 2). La mayor erosión del suelo registrada está asociada con el cultivo de maíz debido a factores como la cantidad de labores culturales (barbecho, cruza, surcado, rascadillos y aporques en el ciclo productivo) y además la duración del ciclo de los materiales utilizados (variedad Guate, con una duración del ciclo de nueve meses). La larga duración del ciclo productivo implica una mayor exposición del suelo a efectos de la escorrentía en la etapa invernal. La duración del ciclo productivo del fréjol es de menor duración, además que la época de siembra se la realiza a la salida de época invernal. Por otro lado, el sistema de siembra con prácticas de labranza reducida beneficia a que los niveles de arrastre de sedimentos sea menor en comparación al cultivo de maíz. Las unidades experimentales de escurrimiento con pasto presentaron el PTSS más bajo.

### **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 valores más altos de PTSS presentaron también promedios más elevados del PTSA (Cuadro 2). Los niveles más altos de pérdida de suelo se obtuvo en el sistema maíz provocando una pérdida del suelo por la erosión hídrica de 699,21 kg/ha. En el cultivo de fréjol la pérdida ocasionada es de 176,51 kg/ha. En el pasto establecido hace ocho años, la pérdida total del suelo en el mismo período de evaluación de los cultivos anteriores es 21,52 kg/ha (Cuadro 2).

En general, la erosión del suelo reportada en el período de evaluación es baja, considerando la fuerte pendiente de las unidades experimentales de escurrimiento (66%). En el cultivo de maíz se presenta la mayor erosión del suelo (menos de 1 tm/ha). Este comportamiento se debe a la gran capacidad de almacenamiento de agua e infiltración que tienen estos suelos provenientes de ceniza volcánica clasificados como Andisoles, con texturas franco, franco arenoso y franco limoso. Además, en general las precipitaciones de la zona en estudio, no fueron torrenciales, es decir, tienen intensidades bajas ( $I_{30}$  = intensidad máxima en 30 minutos). Esto favoreció para que el agua lluvia pueda infiltrarse en el suelo en los diferentes horizontes del perfil y de esta manera se reduce el escurrimiento superficial del agua lluvia.

### **Coefficiente 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 (0,034), seguido del coeficiente del cultivo de maíz (0,025) y el menor valor se alcanzó en el pasto (0,010) (Cuadro 2). El coeficiente de escurrimiento, presentó una relación directamente proporcional con el VAE y el VAI.

### **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 pasto (4690,54 m<sup>3</sup>/ha), seguido del cultivo de maíz (4620,45m<sup>3</sup>/ha) y el menor promedio se registró en el cultivo de fréjol (4575,86 m<sup>3</sup>/ha)(Cuadro 2). 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.

### **Análisis químico del suelo erosionado**

En el sistema de producción de maíz, los nutrientes perdidos en mayor proporción son el N (4,40 kg/ha), el Ca (4,47 kg/ha), el Mg (1,51 kg/ha), el S (1,39 kg/ha) y el Fe (12,68 kg/ha). En el cultivo de fréjol los nutrientes que más se perdieron fueron el N (0,988 kg/ha), el Ca (1,14 kg/ha), el B (0,41 kg/ha) y el Fe (3,16 kg/ha). En el pasto naturalizado la pérdida de nutrientes fue mínima (Cuadro 3). De acuerdo a los resultados obtenidos, las pérdidas de nutrientes están directamente relacionadas con la cantidad de suelo perdido y el sistema de producción.

### **Valor Actual Neto de la reducción de la productividad en los rubros evaluados**

En el sistema productivo del maíz, con el material local utilizado, la lámina de suelo pérdida por efectos de la erosión hídrica alcanza los 3,52 mm 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 4927,72 dólares por hectárea de cultivo. El VAN de la reducción económica es de USD 4479,75 dólares por hectárea.

En el sistema de producción del fréjol la lámina de suelo erosionada es de 0,85 mm por ciclo productivo. La reducción económica en este rubro por la erosión hídrica alcanza el monto de USD 6 637,20 dólares por hectárea. El VAN de este valor corresponde a USD 6033,82 dólares por hectárea.

En el caso de la pastura naturalizada (*Pennissetum clandestinum*) la lámina de suelo erosionada es de 0,1mm por hectárea de pastura en cinco meses de evaluación. La reducción económica por efectos de la reducción progresiva de la fertilidad de los suelos alcanza el monto de USD 1 413,85 dólares por hectárea y el VAN es de USD 1 285,32 dólares por hectárea (Cuadro 4).

### CONCLUSIONES

- El mayor escurrimiento superficial se registró en los sistemas de producción de fréjol y maíz.
- El sistema de producción de maíz, 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 de los indicadores PTSS y 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.
- 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.
- Los nutrientes que se perdieron en mayor cantidad por efecto de la erosión hídrica del suelo en el sistema de producción de maíz fueron el Ca, el N, el Mg y mayormente el Fe.

### RECOMENDACIONES

- Continuar con esta investigación en las microcuencas de los ríos Alumbre e Illangama, 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.
- Diseñar e implementar alternativas tecnológicas amigables con el ambiente para la producción sostenible de los rubros productivos y económicos de la subcuenca.
- Generar espacios para la socialización de la información investigativa generada para motivar y capacitar a los agricultores/as en alternativas tecnológica que fomente la conservación de los suelos en la subcuenca.

### **BIBLIOGRAFIA**

- 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 Chímbo: Estudio de Línea Base*. Proyecto INIAP-SANREM. Guaranda, Ecuador. pp. 11-15.
- 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 Chímbo – Ecuador basado en los enfoques de gestión integrada de cuencas hidrográficas y medios de vida*. INIAP-SANREMCRSP. Artículo técnico en publicación. 15 pp.
- ESPINOSA, P. 1993. *Caracterización por erosión de las cuencas hidrográficas de la sierra ecuatoriana*. Quito. Ecuador, primera edición. pp. 85-98.
- Monar, C. 2007. *Informe anual. UVTT/C*. INIAP. Estación Experimental Santa Catalina. Guaranda Ecuador. 22 pp.
- PROCIANDINO. 1990. *Manejo y conservación de suelos. Diagnóstico y proyecciones para el PROCIANDINO*. Subprograma Quito, Ecuador. 25 pp.
- 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 J. Córdova. 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.
- Yanchapaxi, G. y M. Pozo. 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.



**Cuadro 1.** Variables evaluadas para determinar la pérdida de suelo por erosión hídrica en tressistemas de producción. Microcuenca del río Alumbre-Ecuador, 2008.

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)	<b>VAE = VAT-(Pss x da)</b> : 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)	<b>PTSS = VAE x pss</b> : 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)	<b>C = (VAE)/VAP</b> : VAE=volumen de agua escurrido (litros); VAP=volumen de agua de precipitación (mm)		
Peso total de los sedimentos (PTSA)	<b>PTSA = PTS1 + PTS2 +..... + PTS<sub>n</sub></b> <b>PTS1</b> : Subpeso1 total de sedimentos por evento 1 (kg) <b>PTS2</b> : Subpeso2 total de sedimentos por evento 2 (kg) <b>PTS<sub>n</sub></b> : Subpeso <sub>n</sub> total de sedimentos por evento n (kg)	kg/UE	tm/ha
Densidad aparente (Da)	Método del cilindro: <b>Da = p/v</b> : p=peso del suelo seco en la estufa a 105°C por 24 horas (g); v=volumen conocido (cc)	gr/cc	
Lámina de suelos erosionados (LEA)	<b>LEA= VE/S</b> : VE=volumen de suelo erosionado (m <sup>3</sup> ); S=superficie (m <sup>2</sup> )	m	mm
Agua lluvia infiltrada (VAI)	<b>VAI = VAP – VAE</b> <b>VAP</b> : Volumen de agua precipitada (l/unidad experimental) <b>VAE</b> : Volumen de agua Escurrida (l/unidad experimental)	l/UE	
Contenidos totales de N, P, K, Ca, Mg, S, Fe, Cu, Mn, Zn y B	<b>Contenido total por elemento = contenido reportado de cada elemento x PTSA</b> <b>PTSA</b> : Peso total de los sedimentos durante el ciclo productivo		kg/ha

\* Unidad experimental (área= 15,875 m<sup>2</sup>)

**Cuadro 2.** Promedios y prueba de Tukey para los indicadores evaluados en el estudio de pérdida de suelo por escorrentía. Microcuenca del río Alumbre-Ecuador, 2008.

	VAP	VAE	PTSS	PTSA	C	VAI
	m <sup>3</sup> /ha	m <sup>3</sup> /ha	Kg/ha	kg/ha		m <sup>3</sup> /ha
Pasto	4740,00	49,51 <b>b</b>	18,90 <b>b</b>	21,52 <b>c</b>	0,010 <b>b</b>	4690,54 <b>a</b>
Maíz	4740,00	119,55 <b>a</b>	699,21 <b>a</b>	698,78 <b>a</b>	0,025 <b>a</b>	4620,45 <b>b</b>
Fréjol	4740,00	164,14 <b>a</b>	176,38 <b>b</b>	176,51 <b>b</b>	0,034 <b>a</b>	4575,86 <b>b</b>
Promedio	4740,00	111,05	296,06	298,94	0,023	4628,95
CV (%)		18,91	36,14	35,00	22,320	45,00
P	0,0016	0,0016	0,0006	0,0006	0,0068	0,0016

**Cuadro 3.** Pérdida de macro y micronutrientes (kg/ha) en suelo erosionado por sistema de producción. Microcuenca del río Alumbre-Ecuador, 2008.

Macronutrientes	Tratamientos		
	Pasto (kg/ha)	Maíz (kg/ha)	Fréjol (kg/ha)
N	0,136	4,400	0,988
P	0,034	0,768	0,194
K	0,013	0,489	0,105
S	0,021	1,395	0,193
Ca	0,095	4,470	1,147
Mg	0,048	1,517	0,169
Micronutrientes			
Zn	0,015	0,306	0,051
Cu	0,001	0,051	0,012
Fe	0,302	12,686	3,165
Mn	0,006	0,229	0,047
B	0,239	0,002	0,410

**Cuadro 4.** Valor actual neto del costo económico de las pérdidas en la productividad por efecto de la erosión hídrica<sup>7</sup>. Microcuenca del río Alumbre - 2008.

Cultivos	Maíz	Fréjol	Pasto
Profundidad inicial de la capa arable (cm)	20,00	20,00	20,00
Rendimiento (kg/ha/año) tecnología productor	864,00	724,00	7 000,00
Costos de producción (\$/ha)	338,00	364,00	85,00
Ingresos brutos (\$/ha)	345,60	289,60	70,00
Beneficios netos (\$/ha)	7,60	-74,40	-15,00
Pérdida de la lámina de suelo (cm)	0,3481	0,0856	0,0102
Valor presente de las pérdidas por erosión hídrica en un período de 10 años	<b>-4 479,75</b>	<b>-6 033,82</b>	<b>-1 285,32</b>

<sup>7</sup>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.