



UNIVERSIDAD ESTATAL DE BOLÍVAR  
FACULTAD CIENCIAS AGROPECUARIAS, RECURSOS  
NATURALES Y DEL AMBIENTE  
ESCUELA DE TECNOLOGÍA E INGENIERÍA AGRONÓMICA

“EVALUACIÓN DE LA PÉRDIDA DEL SUELO POR EROSIÓN HÍDRICA  
EN TRES SISTEMAS DE PRODUCCIÓN EN LA MICROCUENCA DE LA  
QUEBRADA CHILCAPAMBA, CANTÓN CHILLANES, PROVINCIA  
BOLÍVAR”

TESIS PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO  
AGRÓNOMO; OTORGADO POR LA UNIVERSIDAD ESTATAL DE  
BOLÍVAR A TRAVÉS DE LA FACULTAD DE CIENCIAS  
AGROPECUARIAS, RECURSOS NATURALES Y DEL AMBIENTE,  
ESCUELA DE TECNOLOGÍA E INGENIERÍA AGRONÓMICA

AUTOR

EFRAÍN EDWIN CHELA MOROCHO

DIRECTOR

ING. NELSON MONAR G. *M.Sc.*

**INSTITUCIÓN AUSPICIADORA: INIAP, SANREM – CRSP USA.**

**GUARANDA - ECUADOR**

**2008**

“EVALUACIÓN DE LA PÉRDIDA DEL SUELO POR EROSIÓN HÍDRICA  
EN TRES SISTEMAS DE PRODUCCIÓN EN LA MICROCUENCA DE LA  
QUEBRADA CHILCAPAMBA, CANTÓN CHILLANES, PROVINCIA  
BOLÍVAR”

**REVISADO POR:**

---

Ing. Agr. Nelson Monar *M.Sc.*

DIRECTOR DE TESIS

---

Ing. Agr. Carlos Monar *M.Sc.*

BIOMETRISTA

---

Ing. Agr. Adolfo Ballesteros *M.Sc.*

ÁREA REDACCIÓN TÉCNICA

---

Dr. Fernando Velóz *M.Sc.*

ÁREA TÉCNICA

## **DEDICATORIA**

Este trabajo de investigación fruto del esfuerzo dedico con admiración y cariño a mis padres, hermanos/as, quienes son la razón de mi vida y la fuerza; además en todo momento me brindaron el apoyo necesario e impulsaron para cumplir mi meta propuesta.

**EFRAÍN EDWIN CHELA MOROCHO**

## **AGRADECIMIENTO**

Mi agradecimiento profundo primero a Dios por su infinita generosidad y bondad para seguir adelante.

Un agradecimiento especial a la UNIVERSIDAD ESTATAL DE BOLÍVAR, que nos formó en sus aulas para alcanzar el título académico.

A las autoridades y personal Administrativo de la Facultad de Ciencias Agropecuarias, Recursos Naturales y del Ambiente. A las autoridades y personal Docente de la Escuela de Ingeniería Agronómica, con especial mención de gratitud al Ing. Nelson Monar Director de Tesis; Ing. Carlos Monar B. Biometrista y a todos los Miembros del Tribunal de Tesis.

Al Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias de la Estación Experimental Santa Catalina (INIAP, Quito), que a través del Departamento de Manejo y Conservación de Suelos y Aguas, y el proyecto SANREM CRSP hicieron posible la realización de esta investigación que contribuyó en el mejoramiento académico – científico.

Al personal técnico y administrativos del Departamento de Manejo y Conservación de Suelos y Aguas de la Estación Experimental Santa Catalina (INIAP, Quito).

Al equipo técnico de la Unidad de Transferencia de Tecnología y Capacitación Bolívar (UTTC-B. del INIAP).

Además expreso mi gratitud a todas aquellas personas que contribuyeron para la culminación de esta investigación.

*Muchas gracias desde lo más profundo de mi corazón*

“Cuando aprendas a correr no te olvides de aquellos que te enseñaron a caminar...”

## CONTENIDO

<b>I. INTRODUCCIÓN.</b>	<b>1</b>
<b>II. REVISIÓN DE LITERATURA.</b>	<b>3</b>
2.1 Aspectos generales.	3
2.2 Tipos de erosión.	5
2.2.1 Erosión hídrica.	5
2.2.2 Erosión por lluvia.	5
2.2.3 Erosión eólica.	6
2.3 Agentes de la erosión.	6
2.3.1 Agua.	7
2.3.2 Viento.	7
2.3.3 Temperatura.	7
2.3.4 Suelo.	7
2.3.5 Hombre.	9
2.4 Procesos y mecanismos de la erosión hídrica.	9
2.5 Causas.	11
2.6 Impactos.	11
2.7 La escorrentía de los suelos.	12
2.8 Factores que influyen en el proceso Precipitación-Escorrentía-Erosión.	14
2.8.1 Cantidad de lluvia.	14
2.8.2 Intensidad de lluvia.	14
2.8.3 Duración y frecuencia de lluvia.	15
2.8.4 Diámetro y velocidad de las gotas de lluvia.	15
2.8.5 Energía cinética y momento.	16
2.9 Límites de tolerancia de la pérdida de suelo.	16
2.10 Efectos de la erosión de la productividad de los suelos.	18
2.11 Pérdida por erosión de los principales nutrientes de las plantas.	19
2.12 Pérdida de materia orgánica.	19
2.13 Pérdida por erosión de los principales nutrientes.	20
2.14 Alternativas para detener el proceso erosivo.	22
2.14.1 Alternativas agronómicas y culturales.	22
2.14.2 Rotación de cultivos.	22

2.14.3 Barreras vivas.	23
2.14.4 Zanjas de desviación.	23
2.14.5 Siembra al contorno o en curvas de nivel.	23
2.15 Clasificación taxonómica de suelo.	24
2.15.1 Orden inceptisol.	24
2.15.2 Suborden andepts.	25
2.15.3 Suborden dystrandepts.	25
2.15.4 Eutrandepts.	26
2.15.5 Itrandepts.	26
<b>III. MATERIALES Y MÉTODOS.</b>	<b>27</b>
3.1 Descripción del área	27
3.2 Características de la unidad experimental.	27
3.3 Materiales y equipos de campo.	28
3.4 Materiales y equipos de oficina.	28
3.5 Métodos.	29
3.5.1 Tratamientos.	29
3.5.2 Análisis estadístico.	29
3.6 Variables y datos tomados.	30
3.6.1 Volumen de agua por precipitación (VAP).	30
3.6.2 Volumen de agua escurrida (VAE).	30
3.6.3 Peso total de sedimentos en suspensión (PTSS).	30
3.6.4 Coeficiente de escurrimiento (C).	31
3.6.5 Lamina de suelo erosionado (LE).	31
3.6.6 Peso total de sedimentos por año (PTSA).	31
3.6.7 Densidad aparente (Da).	32
3.6.8 Volumen de agua lluvia infiltrada (VAI).	32
3.6.9 Análisis químico de suelo erosionado.	33
3.6.10 Análisis de la biomasa de pasto kikuyo.	33
3.7 Diseño y establecimiento de las parcelas de escurrimiento.	33
3.7.1 Manejo de pasto (Kikuyo).	34
3.7.2 Manejo del cultivo de maíz y fréjol.	34

3.7.3 Características de la parcela experimental.	34
<b>IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES.</b>	<b>35</b>
4.1 Volumen de agua por precipitación litros/ha (VAP).	35
4.2 Volumen de agua escurrida litros/parcela (VAE)	36
4.3 Peso total de los sedimentos en suspensión kg/ha (PTSS).	37
4.4 Peso total de los sedimentos por año kg/ha (PTSA).	38
4.5 Coeficiente de escurrimiento (C).	39
4.6 Volumen de agua lluvia infiltrada litros/parcela (VAI).	39
4.7 Análisis químico de suelo erosionado.	40
4.8 Valor Actual Neto de la reducción en la productividad en los rubros evaluados.	42
4.9 Coeficiente de variación.	43
<b>V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.</b>	
5.1. Conclusiones.	44
5.2. Recomendaciones.	46
<b>VI. RESUMEN Y SUMMARY.</b>	
6.1 Resumen.	47
6.2 Summary.	49
<b>VII. BIBLIOGRAFÍA.</b>	<b>51</b>
<b>ANEXOS</b>	

## ÍNDICE DE CUADROS

<b>CUADRO Nro.</b>	<b>PÁGINA</b>
1. Tratamientos evaluados para determinar la pérdida de suelo por erosión hídrica en tres sistemas de producción, microcuenca del río Alumbre-Ecuador, 2008.	28
2. Esquema de análisis de varianza (ADEVA) para el análisis de las variables evaluadas en estudio, microcuenca del río Alumbre-Ecuador, 2008.	28
3. Promedios y pruebas del Tukey para los indicadores evaluadas en el estudio de pérdida de suelo por escorrentía, microcuenca del río Alumbre-Ecuador, 2008.	36
4. Pérdida de macro y micronutrientes (kg/ha) en suelo erosionado por sistema de producción, microcuenca del río Alumbre-Ecuador, 2008.	40
5. Valor actual neto del costo económico de las pérdidas en la productividad por efecto de la erosión hídrica, microcuenca del río Alumbre-Ecuador, 2008.	42

## INDICE DE GRÁFICOS

<b>GRÁFICO Nro.</b>	<b>PÁGINA</b>
1. Distribución mensual de la precipitación en mm. en cinco Meses de evaluación, Chillanes, 2007.	35
2. Volumen de agua escurrida en cinco meses de valuación en la microcuenca del río Alumbre, Chillanes, 2007.	36
3. Cantidad de suelo erosionado en cinco meses de evaluación en la microcuenca del río Alumbre, Chillanes 2007.	37
4. Volumen de agua infiltrada en cinco meses de evaluación en la microcuenca del río Alumbre, Chillanes 2007.	39
5. Extracción de macro y micronutrientes en tres sistemas de producción, en cinco meses de evaluación, microcuenca del río Alumbre-Ecuador 2008.	41

## INDICE DE ANEXOS

### **Anexo Nro.1 Mapa de ubicación del ensayo.**

### **Anexo Nro.2 Tabla de los sedimentos (suelo erosionado).**

**Tabla 1.** Peso de los sedimentos calculados en cada tanque recolector en gr/parcela, evaluado en cinco meses en la microcuenca del río alumbre, chillanes 2007.

**Tabla 2.** Cálculo de suelo erosionado por tratamiento en gr/parcela, evaluado en cinco meses en la microcuenca del río alumbre, chillanes 2007.

**Tabla 3.** Suelo erosionado tratamiento/mes en kg/ha, evaluado en cinco meses en la microcuenca del río alumbre, chillanes 2007.

### **Anexo Nro.3 Tabla del escurrimiento superficial.**

**Tabla 1.** Cálculo del escurrimiento superficial en litros/parcela, evaluado en cinco meses en la microcuenca del río alumbre, chillanes 2007.

**Tabla 2.** Calculo del escurrimiento superficial por tratamientos en litros/parcela, evaluado en cinco meses en la microcuenca del río alumbre, chillanes 2007.

### **Anexo Nro.4 Tabla de los nutrientes de suelo erosionado y de pasto kikuyo.**

**Tabla 1.** Concentración de macro y micro nutrientes de suelo erosionado (ppm), en cinco meses de evaluación, chillanes 2007.

**Tabla 2.** Concentración de macro y micro nutrientes en base a materia seca del follaje de pasto, evaluado en cinco meses en la microcuenca del río alumbre, chillanes 2007.

### **Anexo Nro.5 Base de datos para el análisis.**

### **Anexo Nro.6 Fotografías del ensayo.**

## 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*).

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, C. 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, C. 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.

Los impactos generados por el proceso de degradación del suelo son múltiples, los que inciden en la pérdida de biodiversidad en el ámbito social, cultural, económico y ambiental. En este estudio se cuantificó una reducción económica de USD 258,172 dólares/ha/año, en maíz bajo las condiciones agro socioeconómicas de la microcuenca del río Alumbre la reducción económica está en función de la cantidad de suelo erosionado, por otro lado es difícil realizar una estimación de la cantidad de abonos y fertilizantes necesarios para reponer las pérdidas de nutrientes y materia orgánica.

En este estudio se plantearon los siguientes objetivos:

- Determinar la cantidad de suelo que se pierde por efecto del escurrimiento superficial en los sistemas de producción pasto, maíz y fréjol en monocultivos.
- 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.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1 Aspectos generales

La “erosión” es como un fenómeno que implica desprendimiento, arrastre y depósito de los sedimentos, causado por el agua, el viento, la gravedad o el hombre. En tanto que el “proceso erosivo” debe entenderse como la conjunción de agentes (lluvia, viento), de factores erosivos (pendiente, vegetación) que producen un desgaste o degradación del medio físico, manifestando el desequilibrio y la inestabilidad del relieve (*Yanchapaxi y Pozo, 1993*).

La erosión es un proceso continuo al que obedece la forma cambiante de la tierra este proceso es causado por el agua, los vientos, los cambios de temperatura y la actividad biológica (*Babau, 1983*). La erosión significa el desgaste de la superficie terrestre por acción de las fuerzas del agua y el viento. Se puede distinguir dos tipos de erosión: la erosión geológica y la erosión acelerada, cada una de ellas representa un tipo distinto de remoción del suelo. La erosión por lo tanto, se produce cuando se practica un mal manejo de los recursos naturales que no toman en cuenta la facilidad con que el suelo puede ser arrastrado por el agua o barrido por el viento (*Armas, 1996*).

El porcentaje de cobertura del suelo con residuos vegetales es el factor más importante que influye sobre la infiltración de agua en el suelo. Mientras la infiltración fue prácticamente total cuando el suelo estaba 100% cubierto con residuos vegetales, se verificó un escurrimiento superficial de 75 a 80% del agua, de una lluvia de 60 mm/hora en caso de suelo descubierto, por este motivo es importante mantener el suelo cubierto con plantas o residuos de las mismas durante el mayor tiempo posible, evitando dejarlo expuesto a los agentes climáticos. Toda tentativa de controlar la erosión y la escorrentía vía suelo descubierto, o sea enterrando los restos vegetales y manteniendo la superficie del suelo suelta y desnuda, llevará tarde o temprano al fracaso (*Quiñones E. y R. López, 1997*).

Por eso el sistema de siembra directa sobre residuos de rastrojos o abonos verdes es la práctica más eficiente y adecuada para la prevención y el control de la

erosión y deberá ser la tecnología por excelencia que se debe procurar promover y difundir en todo el mundo.

No labrar el suelo utilizando la Siembra Directa con rotación de cultivos y con el uso de abonos verdes, además de no quemar los residuos de cultivos, son las prácticas más importantes de que dispone el agricultor para hacer posible obtener una cobertura permanente del suelo durante todo el año.

Cuando el suelo se cultiva, se seca y compacta y no vuelve a tener su estructura original y se reduce el espacio poroso; además, en contacto con el aire la materia orgánica se descompone por lo que su contenido se reduce, y la alófana se destruye esto hace que la cantidad de agua que puede retener el suelo disminuya. La retención de agua en sitios cultivados sin erosión es menor con relación a sitios de vegetación de páramo, lo mismo ocurre en sitios con erosión leve, grave y muy grave, la reducción en la tasa de retención de agua se puede relacionar con lo señalado arriba.

El uso de fertilizantes químicos y pesticidas es reciente y ocasional por resistencia cultural, falta de dinero, aislamiento y limitaciones geográficas que tiene esta zona. En caso de uso, el fertilizante más común, el 10-30-10 (N-P-K), es un químico frecuente en la producción de papa y cebada (Huttel *et al.* 1998). Esto no quiere decir que el campesino está familiarizado con las dosis y formas de su aplicación, resultando una acción nociva. El problema de la fertilización de los suelos se agrava cuando los rastrojos de cosechas son usados como alimento del ganado (Quiñones E. y R. López, 1997).

La eficacia de una cubierta vegetal para reducir la erosión por impacto de las gotas de lluvia depende, sobre todo de la altura y continuidad de la vegetación y de la densidad de cobertura del suelo. La altura de la vegetación es importante por que las gotas de agua que caen desde 7 m pueden alcanzar más de 90% de su velocidad terminal, más aún las gotas de lluvia interceptadas por la cubierta pueden unirse a otras en las hojas aumentando de tamaño y haciéndose más erosivas. Un amplio tipo de plantas, el goteo desde las hojas presentan un diámetro medio de gota de 4,5 mm a 9 mm, que es aproximadamente, el doble del tamaño natural de las gotas de lluvia. La distribución por tamaño de las gotas de lluvia bajo la cubierta es en consecuencia bimodal con dos en máximos en 2 y 4,8

mm, que corresponde a la precipitación directa y al drenaje de las hojas (*Huttel et al. 1998*).

## **2.2 Tipos de erosión**

### **2.2.1 Erosión por lluvia**

El agente más importante que causa grandes pérdidas de suelos bajo cualquier condición que éste se encuentra es la lluvia. La relación entre la precipitación y la erosión depende en gran parte de las características de las lluvias; además indica que las características de estas que están relacionadas con el proceso erosivo de los suelos son: Cantidad, Intensidad, Duración, Distribución, diámetro, Velocidad y energía cinética de las gotas de lluvia (*Carvajal, 1992*)

### **2.2.2 Erosión hídrica**

La erosión hídrica puede definirse como el proceso físico mediante el cual el suelo es desprendido, arrastrado y depositado en otro lugar por la acción mecánica del agua. El impacto de las gotas de lluvia y el escurrimiento superficial son agentes externos que disgregan las partículas de suelo y provocan su transporte. Una vez que la capacidad de infiltración y de almacenamiento superficial del suelo está satisfecha, comienza el escurrimiento, arrastrando las partículas sueltas por la energía cinética de las gotas de lluvia y lo que la fuerza del escurrimiento disgrega. Cuando un suelo está expuesto, la disgregación del suelo por efecto de la lluvia es una acción generalizada; pero la disgregación por el escurrimiento es una acción sobre una pequeña parte del terreno sobre la cual, éste se concentra con velocidades erosivas.

La capacidad de transporte está directamente relacionada a la velocidad y turbulencia del flujo. Cuando la velocidad de escurrimiento disminuye la deposición se inicia; colocándose en forma selectiva, primero se depositan los agregados y la arena y luego, a mayor distancia, el limo y la arcilla; consecuentemente, la medición de la pérdida de suelos puede realizarse interceptando el flujo superficial, antes de que éste aporte un cauce natural,

propiciando luego la deposición del material mediante una notable disminución de la velocidad del flujo (*Quiñones E. y R. López, 1997*).

Es la erosión producida por el movimiento rápido del agua sobre la superficie de un suelo, especialmente si éste se encuentra sin vegetación; esta acción involucra el desprendimiento y transporte de partículas de tierra por efecto de escorrentía; sin embargo la salpicadura de las gotas de lluvia contribuye también en forma significativa a la manifestación de esta fenómeno, ya que rompe los agregados del suelo, destruye la estructura de la superficie y taponan los poros del suelo, reduciendo el ritmo de infiltración al suelo y consiguiendo que se incremente el volumen de la escorrentía (*Rodríguez, 1999*).

Se conoce tres tipos de erosión causada por el agua: erosión laminar cuando el suelo es removido en forma bastante uniforme en toda la superficie, erosión en surcos cuando la remoción actúa irregularmente formando pequeños canales o surcos; y erosión en cárcavas cuando el agua se concentra en arroyuelos angostos formando cárcavas profundas, siendo esta la expresión más extrema de la erosión o destrucción de los suelos (*Tayupanta, 1993*).

### **2.2.3 Erosión eólica**

El viento es otro de los agentes de la erosión, el suelo desprovisto de la cortina protectora que forman los árboles, es víctima de la acción del viento que pule, tala y arrastra las partículas del suelo y de roca (*Vaca, 1990*).

## **2.3 Agentes de la erosión**

Los principales agentes de la erosión son: el agua, el viento, los cambios de temperatura, el suelo y el hombre.

### **2.3.1 Agua**

El agente más importante de la erosión, este agente da como resultado de la energía producida por el agua al precipitarse sobre la tierra y al fluir sobre la superficie de los terrenos (*Gallardo, 2000*).

### **2.3.2 Viento**

Es un agente físico que influye en la erosión y formación de los suelos al causar el desprendimiento, transporte, deposición y mezcla de suelo. El viento no erosiona por sí mismo las rocas, sino que es la abrasión provocada por las partículas del suelo que él transporta, la causante de este desgaste (VACA, 1990).

### **2.3.3 Temperatura**

Cuando se considera la erosión geológica, el paso del tiempo apenas se nota, y aún cambios pequeños o muy lentos se vuelven perceptibles hasta después de un largo tiempo. En lo referente a la cuarteadora y descostramiento o exfoliación de las rocas por variaciones entre la temperatura del día y de la noche; ésta variación solo afecta la superficie de las rocas, mientras que los cambios, debido a las variaciones lentas, tienen mayor impacto en la masa de las rocas (Gregoire y Trujillo, 1990).

### **2.3.4 Suelo**

Desde el punto de vista de la erosión, resulta necesario conocer tres factores que son importantes: 1) la cantidad de agua que el suelo puede retener, 2) la velocidad de absorción del suelo, y 3) la resistencia del suelo a la erosión, una vez que haya absorbido toda el agua que puede retener. Si un suelo pudiera retener toda el agua, a medida que va lloviendo, no existiría la erosión, pero en la Sierra ecuatoriana, son previsibles lluvias torrenciales, y por lo tanto, las pendientes no protegidas están expuestas a este fenómeno.

Partiendo de la premisa de que los suelos difieren en cuanto al agua que pueden absorber y a la velocidad con que la absorben, resulta evidente que la magnitud de la erosión será variable. Para indicar la susceptibilidad de un suelo a la erosión se emplea el término erodabilidad o erodibilidad, que viene determinada por las características como: textura, densidad de las partículas, estructura del suelo, materia orgánica, profundidad del suelo, características del subsuelo, y la fertilidad del suelo (Orquera, 1996).

#### **2.3.4.1 Erodabilidad**

La erodabilidad ha sido definida como una propiedad intrínseca del suelo, que expresa la susceptibilidad del suelo a la erosión. Las características que la afectan tienen que ver con los dos procesos básicos de la erosión: la separación y el transporte. Sin embargo, muchos investigadores sostienen que la evaluación de la estabilidad de la estructura debe contemplar el efecto del impacto de la gota de lluvia, principal agente activo en el proceso de erosión (10, 6). Igualmente, se ha demostrado que en el proceso de erosión el sello superficial formado por el impacto de la gota de lluvia conduce a una marcada reducción de la tasa de infiltración (4, 7), por lo que debe ser tomado en cuenta al momento de evaluar la susceptibilidad del suelo a la erosión (*Morgan, 1996*).

#### **2.3.4.2 Erodibilidad**

La erodibilidad se expresa la influencia de las propiedades físicas y químicas de un suelo en la erosión, a través de la infiltración, permeabilidad, capacidad de retención de agua, etc., se expresa en unidades de peso por unidades de superficie para situaciones "estándar" de morfología y uso. También se puede expresar el riesgo de degradación por erosión que puede sufrir una unidad de tierras, ya que quedan incluidas aquí la erodibilidad del suelo, la erosividad de las lluvias, la erosión actual, la tolerancia a la erosión, así como el conjunto de factores que define el concepto tierra y hace referencia al riesgo de degradación que puede sufrir una tierra en su situación de uso presente, o el que poseerá en caso de cambiar las condiciones de uso de la misma (*Morgan, 1996*).

#### **2.3.5 Hombre**

En general, el término erosión del suelo se usa para significar erosión acelerada, o sea, aquella erosión que resulta como consecuencia de la perturbación del paisaje natural, usualmente producida por el hombre. Por otro lado, las actividades agrícolas, como las quemas, pastoreo excesivo, tala de bosques y cultivos inadecuados, son actividades que alteran el equilibrio ecológico, aumentando el peligro de la erosión del suelo.

La tierra es un agente dinámico, sujeta a permanentes cambios físico-químico-biológicos. Cuando el equilibrio natural no se ha perturbado, los procesos se desarrollan a un ritmo en que la remoción de las partículas se equilibra con la formación de un nuevo suelo. Por tanto, cuando la relación hombre-suelo no es adecuada, este equilibrio se rompe, produciendo erosión, degradación y pérdida de fertilidad (*Carvajal, 1990*).

#### **2.4 Procesos y mecanismos de la erosión hídrica**

La escorrentía y la erosión del suelo se inician con el impacto de gotas de lluvia sobre el suelo desnudo, y se define el fenómeno de la erosión como un proceso de desgaste, transporte y deposición de las partículas de la masa de suelo. La sedimentación, proceso de deposición del material erosionado y transportado, ocurre a veces lejos del lugar de origen, pudiendo provocar tanto o más daño que la erosión misma.

El impacto de las gotas de lluvia y el escurrimiento representan los agentes externos que trabajan para vencer la cohesión de las partículas de la masa de suelo y provocar su transporte.

Una vez que la capacidad de infiltración y de almacenamiento superficial está satisfecha, comienza el escurrimiento, arrastrando las partículas sueltas y las que su fuerza misma desagrega.

Cuando el suelo está expuesto, la desagregación por la lluvia es una acción generalizada. Pero la desagregación por el escurrimiento es una acción dirigida que actúa sobre una pequeña parte de terreno en el cual éste se concentra con velocidades erosivas.

Si bien existe una combinación entre el transporte por salpicadura y por escurrimiento, ambos tienen características propias. Por salpicadura el suelo se mueve hacia los surcos y cárcavas y así es transportado por el escurrimiento conjuntamente con el material que éste desagrega. La capacidad de transporte está directamente vinculada a la velocidad y turbulencia del flujo (*Morgan, 1996*).

La deposición ocurre cuando la velocidad del escurrimiento disminuye, realizándose en forma selectiva, primero se depositan los agregados y la arena y luego, a mayor distancia, el limo y la arcilla. La causa principal de la erosión es la

lluvia; sin embargo, la cantidad de suelo erosionado de la energía que llevan las gotas de lluvia, al impactar sobre el suelo desprendiéndole y removiéndole. El proceso erosivo empieza por el desprendimiento de las partículas del suelo; el mismo que se dispersa en todas direcciones, sin mayor consecuencia en terrenos planos, pero con serios daños en laderas inclinadas por existir mayor movimiento del suelo.

Cuando el suelo está seco, la gota del agua es absorbida por el suelo y éste se humedece. A medida que caen más gotas, golpean la superficie del suelo y ocurre un salpicado considerable, cuya turbiedad indica la existencia de partículas de suelo en suspensión, por el rompimiento de las agregadas o por el desprendimiento de las partículas de suelo de la masa del mismo. El choque continuo de las gotas de agua de lluvia acaba por compactar y sellar la superficie, formándose una costra de suelo reduciéndose la infiltración.

Si durante el proceso de la lluvia se produce la escorrentía superficial, las partículas previamente removidas serán transportadas en otro sitio. En esta fase la escorrentía superficial está provocando, predominantemente, una erosión laminar pero tiene poca capacidad para la remoción y transporte de las partículas de suelo (*Vásquez, 1991*).

## **2.5 Causas**

La erosión del suelo es un fenómeno complejo, en el que intervienen dos procesos: la ruptura de los agregados y el transporte de las partículas finas resultantes a otros lugares. Además de la pérdida de la capa del suelo, que contribuye a la desertización, las partículas arrastradas pueden actuar como vehículo de transmisión de contaminación (plaguicidas, metales, nutrientes, minerales, etc.). Se trata de un fenómeno natural pero que ha sido acelerado por las actividades humanas. La erosión puede ser causada por cualquier actividad humana que exponga al suelo al impacto del agua o del viento, o que aumente el caudal y la velocidad de las aguas de escorrentía.

El riesgo de erosión por acción del agua es máximo en periodos de lluvias intensas en que el suelo se encuentra saturado de agua, con escasa cubierta vegetal y aumenta el movimiento del agua por la superficie del suelo. El efecto de la

escorrentía resultante elimina cantidades importantes del suelo y origina la erosión que actúa como ruta principal de agua, lo que aumenta el problema (Narváez, 1986).

## **2.6 Impactos**

Los impactos generados por la erosión del suelo son diversos y las consecuencias económicas de ellos derivadas son difíciles de estimar. La erosión por el agua supone una pérdida de la capa fértil de los suelos que se estima en varios metros al año, se reduce la capacidad de retener el agua.

Es difícil realizar una estimación de la cantidad de abonos y fertilizantes necesarios para reponer las pérdidas de nutrientes y materia orgánica perdidos por la erosión pero desde luego, lo que es seguro es que se traduce en grandes inversiones monetarias. La erosión del suelo afecta también a los ecosistemas, principalmente en las zonas donde se han eliminado la cubierta vegetal provocando su destrucción total o parcial (Foster, 1990).

## **2.7 La escorrentía de los suelos**

### **2.7.1 Escorrentía**

Es el flujo de agua producto de la lluvia que cae al suelo y que circula por surcos, cárcavas o canales, hacia el drenaje principal de la cuenca (Yanchapaxi y Pozo, 1993).

### **2.7.2 Escurrimiento**

El escurrimiento es la parte de la precipitación que aparece en las corrientes fluviales superficiales, perennes, intermitentes o efímeras, y que regresa al mar o a los cuerpos de agua interiores. Dicho de otra manera, es el deslizamiento virgen del agua, que no ha sido afectado por obras artificiales hechas por el hombre. De acuerdo con las partes de la superficie terrestre en las que se realiza el escurrimiento, éste se puede dividir en:

- a. *Escurrimiento superficial o escorrentía.* Es la parte del agua que escurre sobre el suelo y después por los cauces de los ríos.

- b. *Escorrimento subsuperficial*. Es la parte del agua que se desliza a través de los horizontes superiores del suelo hacia las corrientes. Una parte de este tipo de escurrimento entra rápidamente a formar parte de las corrientes superficiales y a la otra le toma bastante tiempo el unirse a ellas.
- c. *Escorrimento subterráneo*. Es aquél que, debido a una profunda percolación del agua infiltrada en el suelo, se lleva a cabo en los mantos subterráneos y que, posteriormente, por lo general, descarga a las corrientes fluviales. A la parte de la precipitación que contribuye directamente al escurrimento superficial se le llama *precipitación en exceso*.

El escurrimento subterráneo y la parte retardada del escurrimento subsuperficial constituyen el *escurrimento base* de los ríos. La parte de agua de escurrimento que entra rápidamente en el cauce de las corrientes es a lo que se llama *escurrimento directo* y es igual a la suma del escurrimento subsuperficial más la precipitación que cae directamente en los cauces (*Morgan, 1996*).

Parte de la precipitación de una zona de drenaje que desagua por surcos pequeños hechos por la corriente. El escurrimento superficial y definen como una porción de la precipitación en exceso que se dirige hacia las corrientes, lagos y océanos por movimientos gravitacionales. Este remueve, transporta y deposita las partículas del suelo desprendidas por las gotas de lluvia y es el responsable directo de todas las formas de erosión hídrica.

Al caer parte del agua producida por la lluvia, ésta se junta o se propaga en la superficie del suelo para producir un “**escurrimento difuso**”, que es el desplazamiento corto que experimentan las partículas que son transportadas por el agua superficial, aún en terrenos de pendientes suaves y con cobertura vegetal. Cuando el escurrimento difuso es intenso y corresponde a un arrastre uniforme casi imperceptible de delgadas capas de suelo, bajo la acción de un manto de agua, se conoce como escurrimento laminar. Este escurrimento difuso pasa a ser “**concentrado**”, al producirse un escurrimento que no es uniforme sobre toda la superficie, sino que se concentra en filetes líquidos, cuyo caudal y velocidad son suficientes para generar una acción erosiva. Este escurrimento muy intenso del agua se concentra en surcos paralelos que al profundizarse y unirse entre sí,

forman cárcavas. Este proceso es activo principalmente en muchas áreas de la Sierra, que se caracterizan por altas pendientes, cobertura vegetal baja y poca densa, suelos erosionados y clima temperado seco (*Yanchapaxi y Pozo, 1993*).

### **2.7.3 La infiltración**

La **infiltración** se lo define como la velocidad máxima con que el agua penetra en el suelo. La capacidad de infiltración depende de muchos factores; un suelo desagregado y permeable tendrá una capacidad de infiltración mayor que un suelo arcilloso y compacto. Si una gran parte de los poros del suelo ya se encuentran saturados, la capacidad de infiltración será menor que si la humedad del suelo es relativamente baja. Si los poros del suelo en las capas superiores del mismo ya se encuentran saturados, la infiltración se hará en función de la permeabilidad de los estratos inferiores.

Una precipitación intensa podrá provocar la colmatación de los poros superficiales, con partículas finas del suelo, reduciendo la infiltración.

## **2.8 Factores que influyen en el proceso precipitación-escorrentía-erosión**

### **2.8.1 Cantidad de lluvia**

Existe una relación directa entre la cantidad de lluvia y la cantidad de suelo erosionado, pero estadísticamente no es significativo; esto indica que la cantidad de lluvia no es el mejor indicador, por sí misma del proceso erosivo. La cantidad de agua requerida, en un suelo evento, para que se produzca el fenómeno de la erosión es de 20 a 30 mm ya que precipitaciones menores a esa cantidad pueden ser absorbidas por el suelo. En estudios realizados en la cuenca del río Texcoco, precipitaciones mayores a 10 mm causaron erosión en áreas de cultivo, pastizales y cangahuas (*Foster, 1990*).

### **2.8.2 Intensidad de lluvia**

Reporta que existe una correlación entre la intensidad de la lluvia y la escorrentía. Generalmente la intensidad de la lluvia se mide por la cantidad de agua que cae en

un cuarto de hora, de tal manera que se agrupa en: Baja, si es inferior a 28 mm/h; mediana si oscila entre 28 y 60 mm/h; y alta si es superior a los 60 mm/h.

La intensidad de la lluvia como la relación entre la cantidad y la duración de aquella y se calcula como:

$$I = \frac{60 \times P}{T}$$

Donde:

I = Intensidad de lluvia, en mm/hora

P = Cantidad de lluvia en mm

t = Tiempo de duración de la lluvia, en minutos

60 = Factor de conversión, min. a horas.

Por otro lado reporta que existe una correlación entre la intensidad de la lluvia y la escorrentía. Generalmente la intensidad de la lluvia se mide por la cantidad de agua que cae en un cuarto de hora, de tal manera que se agrupa en: Baja, si es inferior a 28 mm/h; mediana si oscila entre 28 y 60 mm/h; y alta si es superior a los 60 mm/h (*Foster, 1990*).

### **2.8.3 Duración y frecuencia de la lluvia**

La duración de una tormenta es el tiempo transcurrido entre la iniciación y el término de una lluvia y se expresa en minutos. La frecuencia representa el número de veces que un determinado fenómeno ocurre en un tiempo conocido y se expresa en porcentaje.

Generalmente, la duración y la frecuencia están relacionadas con la intensidad de la lluvia, por lo que la duración de una tormenta por sí sola, no es un buen indicador del aspecto erosivo, pero si va acompañada de la intensidad y periodicidad, pueden desarrollar una mayor actividad erosiva en los suelos (*Yanchapaxi y Pozo, 1993*).

#### **2.8.4 Diámetro y velocidad de las gotas de lluvia**

Las gotas de lluvias son el factor causal de la erosión del suelo. Pueden ser grandes o pequeñas y en consecuencia tienen diversas velocidades y pueden caer con baja o alta intensidad. La distribución del tamaño de las gotas de lluvia incluyen a aquellas que varían de 0.1 hasta 1.0 mm, siendo estas últimas muy inestables, debido a que las turbulencias del aire las rompen antes de que lleguen a la superficie del suelo. La variación que sufre el diámetro de las gotas, es una función de la intensidad de la lluvia, así para intensidades bajas (1.3 mm/h) el diámetro de las gotas es pequeño (0.1 mm), en cambio que para intensidades mayores (50mm/h) el diámetro también es grande (3.5 mm) (*Foster, 1990*).

#### **2.8.5 Energía cinética y momento**

La capacidad erosiva de las gotas de lluvia depende de la energía cinética y de la fuerza que produce en cada impacto. La energía cinética y momento están en función del tamaño de las gotas y de la aceleración de la gravedad con que se proyecta la lluvia hacia el suelo produciendo el impacto.

Al referirse a la acción que produce la energía cinética de las gotas de lluvia sobre el suelo desnudo, reportaron que esta provoca la formación de las costras en aquel, las mismas que son la causa para que se reduzca la infiltración y se aumente la escorrentía superficial. Este efecto es notorio cuando el suelo presenta agregados finos y débiles ya que la energía cinética de las gotas al impactar disgrega y transporta, y al caer en otros sitios del suelo, llena los orificios entre los agregados y los compactan, disminuyendo la microporosidad del suelo, inclusive varios milímetros bajo la superficie de la misma (*Cueva, 1998*).

#### **2.9 Límites de tolerancia de la pérdida de suelo**

En general, los suelos varían ampliamente en su desarrollo, características físicas y químicas, potencial de producción y erosión. Los promedios máximos permisibles de pérdida de suelo que no afecten el grado de productividad del mismo. El primer factor usado en determinar este valor fue el de la pérdida de productividad por centímetro de capa superficial perdido por erosión. En tal

virtud, la pérdida de productividad en suelos ecuatorianos es extremadamente acelerada, con consecuencias muy graves para el futuro de la agricultura en el país.

Los límites de tolerancia de pérdida de suelo han sido definidos como la máxima tasa anual de suelo erosionado, que permitirá obtener un alto nivel de productividad en forma económica e indefinida. Como bien anotan estos autores, la definición implica pero no establece directamente, que no deberá existir pérdida de productividad del suelo en un periodo largo y que en el mantenimiento de esta productividad dependerá en la conservación del espesor del horizonte superficial y de una adecuada zona radicular.

Tasas de formación de suelo de 5 ton/ha/año y de un desarrollo favorable de la zona radicular por los procesos de intemperización y no consolidación del material parental de 0.5 ton/ha/año, fueron consideradas como factores preponderantes en el establecimiento de los actuales niveles de tolerancia de pérdida de suelo con el consiguiente mantenimiento en su productividad (*Gallardo, 2000*).

## 2.10 Pendientes que causa la erosión

Normalmente se podría esperar que aumente la erosión al aumentar la inclinación y la longitud de la pendiente, como resultado del incremento de la velocidad y volumen de la escorrentía superficial, ya que en un terreno en pendiente más partículas de suelo son salpicadas pendiente abajo que pendiente arriba, aumentando la proporción en función de la pendiente.

Clase	Rango (%)	Tipos de pendientes
1	0-5	Pendientes planas
2	5-12	Pendientes ligeramente onduladas
3	12-25	Pendientes medianamente ondulada
4	25-50	Pendientes onduladas
5	50-70	Pendientes fuertes
6	>70	Pendientes extremadamente fuertes

**Cuadro 1.** Tipos de pendientes, clase y rangos en porcentaje.

La erosión se da principalmente en las zonas con pendiente, mientras mayor sea el ángulo de inclinación, mayor será la erosión del suelo, el agua se va comiendo poco a poco las capas fértiles de tierra. Otra causa que hoy es más controlable, es el uso excesivo de plaguicidas y fertilizantes, al igual que el abandono de las tierras.

Es muy severa la erosión a lo largo de las fronteras agrícolas, pero a tiempo se disminuyó su expansión, se pudo controlar los incendios que promovían el desbroche en los bosques tropicales y en los páramos. Los agricultores tomaron medidas en contra de la erosión del suelo, y capacitaron para controlar la erosión a los sectores agrícolas a los que no tenían el conocimiento necesario, y se empezaron a trabajar las tierras abandonadas para aumentar su fertilidad, en el cuadro 2 se puede notar la pérdida de suelo en función de la pendiente y sistema de producción (*Morgan, 1996*).

<b>Cultivo</b>	<b>Pendiente %</b>	<b>Lámina perdida (mm)</b>	<b>Densidad aparente (dap)</b>	<b>Suelo perdido T/ha/año</b>
Sin cobertura	10	14,5	1,11	160,95
Maíz	15	11,5	1,18	135,70
Sin cobertura	5	9,4	1,10	103,40
Fréjol V.	10	8,4	1,04	87,36
Maíz	7	7,0	0,99	69,30
Fréjol V.	2	6,7	1,07	71,69
Frutales	5	6,6	1,06	69,96
Frutales	4	1	0,89	8,90

**Cuadro 2.** Suelo perdido según el cultivo y de acuerdo al pendiente.

### **2.11 Efectos de la Erosión en la Productividad de los Suelos**

El suelo provee de nutrientes, agua y soporte físico que las plantas requieren, en efecto ha sido denominada el sustento de las plantas, junto con el clima, manejo potencial genético. El suelo es el mejor determinante del rendimiento, particularmente desde el punto de vista que provee de un buen ambiente para el crecimiento de las raíces y está expresado en la ecuación de rendimiento ampliamente conocida.

$$R = F (\text{clima, cultivo, suelo y manejo})$$

Un suelo productivo es un suelo en el cual las condiciones físicas, químicas y biológicas son favorables para la producción económica de cultivos adaptados en un área específica. La erosión del suelo reduce la productividad del mismo, pero la relación entre estos dos fenómenos aún no está bien definida (*Espinosa, 1993*).

### **2.12 Pérdida por erosión de los principales nutrimentos de las plantas**

La agricultura moderna depende del mantenimiento de un equilibrio favorable entre pérdidas y ganancias de los elementos nutritivos disponibles en el suelo para las plantas, la erosión, la productividad de cultivo, la lixiviación y la volatilización son los cuatro principales caminos por los cuales estos elementos nutritivos pueden ser removidos del suelo. Los cultivos a la cosecha remueve solamente aquellos elementos que son asimilados por las plantas durante su ciclo de crecimiento, pero la pérdida por lixiviación en regiones húmedas tienden a ser gobernada por el grado de movilidad de los elementos nutritivos en el suelo. Los factores medioambientales, los elementos nutricionales que se obtienen del suelo constituyen en su ausencia un serio limitante para el desarrollo de los cultivos.

Los elementos derivados del suelo, son generalmente agrupados en dos amplias categorías: elementos mayores y elementos menores. El nitrógeno, el fósforo y el potasio son comúnmente suplidos a las plantas a través de la aplicación de fertilizantes comerciales y abonos orgánicos (*Gallardo, 2000*).

### **2.13 Pérdidas de materia orgánica**

Una pérdida de 337 kg/ha/año, de materia orgánica en un suelo franco limoso, con una pendiente de 3.5 %, protegido con una cubierta de estiércol de ganado vacuno; mientras que en la parcela no recubierta, la pérdida ascendió a 1149 kg/ha/año. Las pérdidas de 951 kg/ha/año, de un suelo franco limoso moderadamente erosionada y de 668 kg/ha/año de una fase del mismo suelo erosionado. Bajo las condiciones de los suelos de la tierra ecuatoriana, ubicadas en pendientes mayores a 15 a 20 % y con contenidos promedios de materia orgánica de 4 %, se pierde apenas un centímetro de la capa arable en una hectárea

de suelo, se estaría perdiendo aproximadamente 4.000 kg/ha/año de materia orgánica, siendo esta una cifra bastante conservadora.

La materia orgánica del suelo, la cual no es considerada un nutrimento, no puede ser suplida como fertilizante comercial y es muy difícil de recuperarla; debido a la alta concentración en la superficie del suelo y su baja densidad, la materia orgánica es uno de los principales componentes en ser removidos por la erosión. La cantidad de materia orgánica perdida está en función de la pérdida de suelo, pero el porcentaje en el material erosionado decrece a medida que las pérdidas por erosión se incrementan, debido a que por su baja densidad es acarreada por el agua de escurrimiento más allá de los depósitos de partículas minerales del suelo, y el proceso de mineralización se acelera y tiende a descomponerse en un tiempo más corto. Aún bajo condiciones ideales, sería mucho más difícil el reemplazar la materia orgánica perdida; debido a la menor producción de residuos vegetales en los suelos que por el efecto de erosión han perdido su productividad (*Carvajal, 1992*).

#### **2.14 Pérdida por erosión de los principales nutrimentos.**

Excluyendo los factores medioambientales, los elementos nutricionales que se obtienen del suelo constituyen, en su ausencia, un serio limitante para el desarrollo de los cultivos. Aun bajo condiciones ideales, sería mucho más difícil el reemplazar la materia orgánica perdida; debido a la menor producción de residuos vegetales en los suelos que por el efecto de erosión han perdido su productividad (*Henesal, P. 2002*).

##### **2.14.1 Pérdidas de Nitrógeno.**

Las pérdidas de nitrógeno por erosión son probablemente las más serias que las pérdidas de cualquier otro elemento nutricional. Esto resulta del hecho que la mayor parte del nitrógeno que se pierde esta en combinación con la materia orgánica del suelo, la misma que es muy susceptible de erosionarse.

En los suelos donde predominan las partículas muy finas (arcillas), es menor la velocidad del movimiento del agua a través del suelo, lo que disminuye las

perdidas por lixiviación del nitrógeno a horizontes profundos; pero así mismo, ello podría conducir al encharcamiento, con lo que habrá una reducción considerable del oxígeno y ocurriría una descomposición anaeróbica, con las consiguientes pérdidas del nitrógeno ( $N_2$ ) y oxígeno nitroso ( $N_2O$ ) por volatilización.

Observaron pérdidas de nitrógeno en la escorrentía de 1.3 kg/ha de nitrógeno nítrico y de 0.8 kg/ha de nitrógeno amoniacal, indicando que el nitrógeno presente en la escorrentía fue solo el 20% del nitrógeno aportado por la escorrentía. (*Henesal, P. 2002*).

#### **2.14.2 Pérdidas de fósforo.**

Bajo condiciones ordinarias de campo, el fósforo es uno de los elementos menos móvil en el suelo. El movimiento vertical de este elemento en el suelo es extremadamente lento. El fósforo aplicado al suelo permanece en los estratos superficiales del perfil al menos que se lo incorpore mecánicamente a profundidades inferiores.

La concentración de fósforo en el escurrimiento superficial tiende a ser considerablemente más alto que la concentración en el suelo. En los suelos del Ecuador que por su origen volcánico presentan altos contenidos de materiales amorfos, con características de baja densidad, pero con altos poderes de fijación de fósforo, la pérdida de un centímetro de la capa superficial involucra altas pérdidas del elemento fósforo que está íntimamente ligado a las partículas minerales (*Henesal, P. 2002*).

#### **2.14.3 Pérdidas de potasio.**

En lugares donde tanto las pérdidas de potasio en forma total y disponible son reportadas, la cantidad de potasio disponible es por su puesto, mucho menor que el potasio total removido. En estas circunstancias se puede apreciar claramente que quizás del 90 al 98 % de todo el potasio del suelo está en forma que no es inmediatamente disponible para las plantas. Las cantidades de potasio removido en solución son generalmente muy pequeñas.

Las pérdidas de este elemento en los suelos ecuatorianos a causa de la erosión son poco perceptibles; debido a que estos suelos en su mayoría son ricos en este elemento dada la condición de ser de origen volcánico, de ahí que la baja de productividad de los suelos en el Ecuador por efecto de pérdida de potasio es ignorada, y solo se la nota en aquellos extremadamente erosionados (*Henesal, P. 2002*).

#### **2.14.4 Pérdida de calcio.**

Estas pérdidas se observaron aumentos en la concentración de calcio en las aguas de escorrentía de 0.232 hasta 0.287 ppm como consecuencia de la tala de bosque (*Henesal, P. 2002*).

#### **2.14.5 Pérdida de magnesio.**

Las pérdidas de magnesio por efectos de la erosión han sido escasamente reportadas, de allí que se considera que la remoción de este elemento en forma soluble del suelo es insignificante. Sin embargo algunos autores han reportado pérdidas máximas de magnesio en solución de 2.6 kg/ha, 1.33 kg/ha en un suelo franco y de 3.6 kg/ha en un suelo limo arcilloso cultivado con maíz (*Henesal, P. 2002*).

#### **2.14.6 Pérdidas de sodio.**

Señalan pérdidas de sodio por erosión del suelo desde 5.9 hasta 62 kg/ha y ganancias desde 1 hasta 58 kg/ha, por efectos de la precipitación (*Henesal, P. 2002*).

### **2.15 Alternativas para detener el proceso erosivo**

#### **2.15.1 Alternativas agronómicas y culturales**

Son las que consideran el desarrollo de las plantas o cultivos, con la finalidad de mejorar la capacidad productiva de los terrenos y ayudar a disminuir la erosión del suelo (*Tayupanta y Córdova, 1990*).

### **2.15.1.1 Rotación de cultivos**

La rotación de los cultivos es la renovación regular de los cultivos en el tiempo, en el mismo terreno. Es una práctica muy antigua que controla la erosión y mantiene la productividad de los terrenos. Permite instalar diferentes cultivos, sucesión recurrente y en una secuencia definida, para aprovechar al máximo la disponibilidad de nutrientes, energía y desechos. *(Rodríguez, 1999)*.

### **2.15.1.2 Barreras vivas**

Son hileras de plantas perennes y de crecimiento denso sembradas a través de la pendiente, casi siempre en contorno. El objetivo de dichas barreras es reducir la velocidad del agua que corre sobre la superficie del suelo y retener las partículas de sedimentos que están siendo transportadas; disminuyen también la velocidad del viento y protegen al suelo. *(Tayupanta y Córdova, 1990)*.

### **2.15.1.3 Labranza reducida**

Para obtener buenos resultados con la roturación del suelo y minimizar los problemas de erosión, se recomienda la labranza mínima o labranza de conservación. Esta labranza de conservación consiste en reducir drásticamente o eliminar la labranza máxima con el fin de conservar el agua y el suelo *(FHIA, 2004)*.

## **2.15.2 Alternativas mecánicas**

### **2.15.2.1 Zanjas de desviación**

Esta práctica está destinada a cortar el flujo del agua proveniente de las partes superiores del terreno, trasladándoles a caminos del agua o bordes del campo previamente establecidos en donde no existan riesgos de erosión, las desviaciones pueden ser construidas en forma triangular, de V, de U, pero generalmente son de sección trapezoidal. *(Tayupanta y Córdova, 1990)*.

### **2.15.2.2 Siembra al contorno o en curvas de nivel**

También se llama siembra en contra de la pendiente o siembra atravesada a la pendiente. Esta práctica consiste en hacer las hileras del cultivo en contra de la pendiente siguiendo las curvas de nivel. Se recomienda para cualquier clase de cultivo cuando la pendiente del terreno es mayor al 5 %. La importancia de esta práctica es que al sembrar las hileras del cultivo en contra de la pendiente, las demás labores del cultivo como limpieza y aporque, se hacen de la misma manera. Además, cada surco o hilera del cultivo se oponen al paso del agua de lluvia que no se logra filtrar en el suelo, disminuyendo su velocidad, y así hay menos arrastre del suelo y nutrientes. Una forma sencilla de hacer la siembra en contra de la pendiente del terreno es trazando en el centro de la parcela una curva a nivel con el nivel en "A". Esta curva trazada será el surco o hilera madre que servirá de línea guía para trazar las demás hileras del cultivo paralelas a este surco madre, tanto hacia arriba como hacia abajo del terreno hasta que quede cubierta toda la parcela. (FHIA, 2004).

## **2.16 Clasificación taxonómica del suelo**

### **2.16.1 Orden inceptisoles**

Suelos que evidencian un incipiente desarrollo pedogenético, dando lugar a i» c formación de algunos horizontes alterados; los procesos de tras locación y acumulación pueden presentarse. Constituyen una etapa subsiguiente de evolución, en relación con los Entisoles, sin embargo son considerados inmaduros en su evolución,

Los Inceptisoles ocurren en cualquier tipo de clima y se han originado a partir de diferentes materiales parentales (materiales resistentes o cenizas volcánicas); en posiciones de relieve extremo, fuertes pendientes o depresiones o superficies geomorfológicos jóvenes. La definición de los Inceptisoles es inevitablemente complicada. Abarca suelo que son muy pobremente drenados a suelos bien drenados y como ya se ha indicado con la presencia de algunos horizontes

diagnósticos, sin embargo el perfil ideal del Inceptisoles incluiría una secuencia de un epipedonótrico sobre un horizonte cámbrico.

El uso de estos suelos es muy diverso y variado, las áreas de pendientes más apropiadas para la reforestación mientras que los suelos de depresiones drenaje artificial pueden ser cultivados intensamente. Dentro de este Orden se identifican tres subórdenes caracterizados por la humedad, temperatura y mineralogía del suelo (*Henesal, 2002*).

#### **2.16.1.1 Suborden Andepts**

Son los Inceptisoles originados de cenizas volcánicas y se encuentran cerca de las montañas que tienen actividad volcánica (principalmente en el callejón interandino). Son suelos que se presentan más o menos sin restricciones de drenaje, tiene una baja densidad aparente ( $<0.8$  g/cc), apreciable cantidad de alófana, alta cantidad de intercambio catiónico y alto contenido de materiales pirolásticos. Característica principal de estos suelos es que debido a que pueden ser originados de diferentes aportes volcánicos, presentan muchas veces horizontes "enterrado" que corresponden a anteriores capas superficiales ricas en materia orgánica. Los grandes grupos se definen en función de los criterios: saturación en baja retención de humedad (*Henesal, 2002*).

##### **2.16.1.1.1 Hídrandepis**

Son los Andepts negros de regiones con muy alta pero bien distribuida precipitación. Estos suelos tienen siempre un contenido de húmeda por debajo de la capacidad de campo. La lixiviación es casi un proceso continuo (*Henesal, 2002*).

##### **2.16.1.2 Suborden dystrandeps**

Son los Andepts que poseen una retención de humedad inferior al s: 100%, gran cantidad de carbón orgánico y materiales amorfos y un bajo contenido de bases. Se han desarrollado en climas húmedos. Poseen un alto poder de fijación del

fósforo, lo cual limita su capacidad de uso. Son profundos de color muy negro en las zonas frías y amarillentas en las zonas cálidas y templadas (*Henesal, 2002*).

#### **2.16.1.2.1 Eutrandepts**

Son los Andepts con gran cantidad de materiales amorfos y carbón orgánico y alto contenido de bases (*Henesal, 2002*).

#### **2.16.1.2.2 Itrandepts**

Son los Andepts caracterizados por la presencia de grandes cantidades; de materiales pirolásticos como vidrio, ceniza y pómez. De texturas arenosas francas (*Henesal, 2002*).

### **III. MATERIALES Y MÉTODOS.**

#### **3.1 Descripción del área**

El estudio se realizó en la provincia Bolívar en la microcuenca del río Alumbre, se encuentra ubicada a 2.198 m.s.n.m. con una temperatura media anual de 17°C. 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. Heliofanía de 780 horas/luz/año, 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, la misma que indica según Holdrige L. se encuentra dentro del piso bosque húmedo montano bajo (b.h.M.B.), y bosque húmedo premontano (b.h.P.M.).

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

#### **3.2 Características de la unidad experimental**

Se plantearon tres tratamientos (coberturas vegetales): maíz, fréjol voluble 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.

El área de la unidad experimental correspondió 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). 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 hace ocho años), el cultivo de maíz (variedad local Guate) y el cultivo de fréjol en monocultivo (variedad INIAP-412 Toa), (Foto N° 12, 13 y 14).

### **3.2.1 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 (Foto N° 18). Terminada la filtración, los sedimentos acumulados en el papel filtro se secaron a una temperatura de 60° C (Foto N° 19) 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.

### **3.2.2 Materiales y equipos de campo**

Pluviómetro, penetrómetro, balanza, estufa, clinómetro, barreno, cajas metálicas, láminas metálicas (tol galvanizado), tanques plásticos de 120 litros, embudos de plástico, Erlenmeyer de 500 cc, papel filtro (Whatman 4 Qualitative, 185 mm.), fundas plásticas, Insumos de campo (semillas, abonos y fertilizantes, biosidas), herramientas de campo (palas, azadones, machetes), cinta métrica, estacas, combo, probeta, etc.

### **3.2.3 Materiales y equipos de oficina**

Computador, impresora, cartucho de tinta, calculadora, borrador, esferos, lápiz, papel bond, escuadras, disquetes, flash memory, CDS, etc.

## **3.3 Métodos**

Se utilizó un diseño experimental de Bloques completos al azar (DBCA), con tres tratamientos y tres repeticiones. Se efectuaron análisis de varianza y la prueba del Tukey al 5%.

### 3.3.1 Tratamientos

*Cuadro 1. Tratamientos evaluados para determinar la pérdida de suelo por erosión hídrica en tres sistemas de producción. Microcuenca del río Alumbre-Ecuador, 2008.*

Tratamiento	Sistemas de producción
1	Pasto-ecotipo kikuyo
2	Cultivo maíz duro-variedad Guate
3	Cultivo fréjol-variedad I-412 Toa

### 3.3.2 Análisis estadístico

*Cuadro 2. Esquema del Análisis de Varianza (ADEVA) para el análisis de las variables evaluadas en el estudio. Microcuenca del río Alumbre-Ecuador, 2008.*

Fuentes de variación	Grados de libertad	CME*
Bloques (r-1)	2	$f^2e+3 f^2bloques$
Tratamientos (t-1)	2	$f^2e+3 \theta^2t$
Error Experimental (t-1) (r-1)	4	$f^2e$
Total (t x r)-1	8	

### 3.4 Variables evaluadas.

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

El volumen de agua por precipitación se registró diariamente los datos utilizando un pluviómetro de cuña. Este resultado se expresó en mm/día y se transformó en litros/parcela.

#### 3.4.2 Volumen de agua escurrida (VAE)

Se evaluó después de cada fenómeno erosivo (VAP) y directamente del sitio experimental. En cada uno de los tanques de recolección se tomó el volumen escurrido, se registró el volumen de agua total medido en el tanque (VAT), se

expresó en litros y se restó del volumen de precipitación (VAP) para obtener el volumen de agua escurrido (VAE), mediante la siguiente fórmula:

$$\mathbf{VAE = VAT - VAP}$$

En donde:

**VAE:** Volumen de agua escurrido (litros).

**VAT:** Volumen de agua total medido en los tanques (litros).

**VAP:** Volumen de agua de precipitación (litros) (*Carvajal, 1992*)

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

Conocido el VAE y los datos del laboratorio referentes al peso de los sedimentos secos en suspensión (previamente filtrados y secos a 50°C) contenidos en un litro de agua y restituido el volumen medido tenemos:

$$\mathbf{PTSS = VAE \times pss/100}$$

En donde:

**PTSS:** Peso de los sedimentos en suspensión (kg)

**VAE:** Volumen de agua escurrido (litros)

**pss:** Peso de los sedimentos en suspensión contenidos en un litro de muestra (*Carvajal, 1992*)

### **3.4.4 Coeficiente de escurrimiento (C)**

El coeficiente de escurrimiento resulta de la relación entre la lámina de agua escurrida sobre una superficie dada y la lámina de agua caída (precipitación) durante un lapso de tiempo dado.

$$\mathbf{C = (VAE)/VAP \times 100}$$

En donde:

**C:** Coeficiente de escurrimiento.

**VAE:** Volumen de agua escurrido (litros).

**VAP:** Volumen de agua de precipitación (mm) (*Carvajal, 1992*)

### 3.4.5 Peso total de los sedimentos (PTSA)

El peso total de los sedimentos en kilogramos fue:

**PTSA = PTS1 + PTS2 +..... + PTS n** en donde:

**PTSA:** Peso total de sedimentos por año (kg)

**PTS1:** Subpeso1 total de sedimentos por año (kg)

**PTSA2:** Subpeso2 total de sedimentos por año (kg)

**PTSA<sub>n</sub>:** Subpeso "n" total de sedimentos por año (kg) (*Carvajal, 1992*)

El resultado final se expresó en toneladas por hectárea y por año en la siguiente forma:

$$\text{PTSA} \times 10 \text{ tn/ha/año}$$

### 3.4.6 Lámina de suelo erosionado (LE)

Primeramente se conoció el volumen de suelo erosionado en m<sup>3</sup>, que se obtiene de la relación de peso total de sedimentos (PTSA) con la densidad aparente (da).

$$\text{VE} = \text{PTSA} \times \text{da}$$

En donde:

**VE:** Volumen de suelo erosionado (m<sup>3</sup>)

**PTSA:** Peso total de sedimentos por año (kg)

**da:** Densidad aparente (kg/m<sup>3</sup>) (*Carvajal, 1992*)

Luego para calcular la lámina de suelo erosionado, se dividió el volumen de suelo erosionado (VE) para la superficie (S).

$$\text{LE} = \text{VE}/\text{S}$$

En donde:

**LE:** Lámina erosionada (m)

**VE:** Volumen de suelo erosionado (m<sup>3</sup>)

**S:** Superficie (m<sup>2</sup>) (*Carvajal, 1992*)

### 3.4.7 Densidad aparente (Da)

Se tomó una muestra de suelo con un barreno de volumen conocido a una profundidad de 10 a 20 cm., trimestralmente en los tres sistemas de producción (para los cultivos se tomó la muestra de suelos entre las plantas). Se utilizó el método del volumen conocido y el resultado se expresó en  $\text{kg/m}^3$ .

**Da = p/v** en donde:

**Da:** Densidad aparente ( $\text{kg/m}^3$ ).

**p:** Peso del suelo seco en la estufa a  $105^\circ\text{C}$  por 24 horas (kg).

**v:** Volumen conocido ( $\text{m}^3$ ). (*Carvajal, 1992*)

### 3.4.8 Agua lluvia infiltrada (VAI)

El agua lluvia infiltrada se obtiene del volumen de agua precipitada menos el volumen de agua medida:

$$\text{VAI} = \text{VAP} - \text{VAM}$$

En donde:

**VAI:** Volumen de agua infiltrada (mm)

**VAP:** Volumen de agua precipitada (mm)

**VAM:** Volumen de agua de precipitación (mm) (*Carvajal, 1992*)

### 3.4.9 Análisis químico del suelo erosionado

El análisis químico de suelos se realizó por tratamiento, en los sedimentos recolectados durante el ciclo del cultivo. Se reportó los contenidos de: N, P, K, Ca, Mg, S, Fe, Cu, Mn, Zn y B. Estos valores se multiplicaron para el peso total de los sedimentos por año (PTSA), para determinar la cantidad total de nutrientes perdidos por arrastre de suelos. Los resultados se expresaron en  $\text{kg/ha}$  para macro y micronutrientes.

#### **3.4.10 Análisis de biomasa del pasto kikuyo**

La biomasa se evaluó con los datos promedios de tres cortes de pasto. Se registró el peso fresco en gramos/parcela neta. Se tomó una submuestra de pasto fresco de 300 gr. de cada unidad experimental para secar en una estufa a 65°C, por 48 horas hasta obtener un peso constante de materia seca. Con estos datos se calculó el rendimiento de materia seca en t/ha.

#### **3.5 Diseño y establecimiento de las parcelas de escurrimiento.**

El experimento tuvo tres parcelas de escurrimiento, denominándose pasto, cultivo maíz y fréjol. Cada parcela de escurrimiento estuvo aislada. El límite superior de la parcela necesitó especial protección del agua que procede de la parte más alta de la ladera. El límite de las parcelas estuvieron construidas con bandas de metal de 0,002 m de espesor; 2,5 m de largo y por 0,40 m de ancho con un área total de 15,87 m<sup>2</sup> y afirmadas con montículos de tierra.

En el borde inferior interno de las parcelas, el agua y el suelo fueron recogidos por un canal recolector de cada parcela. En este sitio se utilizó un canal metálico, evitando tener filtraciones del agua por debajo del canal recolector. La base del colector tuvo una pendiente del 5% para evitar cualquier sedimentación de suelo erosionado.

El canal, estuvo conectado a un tanque recolector de capacidad de 120 litros, el cual fue cubierto con un plástico para evitar el ingreso de materiales extraños y agua lluvia al mismo (Foto N° 10).

Se instaló un pluviómetro de cuña, en el sitio central del ensayo, el mismo que sirvió para realizar mediciones diarias de las precipitaciones.

#### **3.6 Manejo del pasto Kikuyo (*Penisetum clandestinum*).**

En las parcelas de escurrimiento con pasto, se utilizó el kikuyo. Este pasto fue establecido por el agricultor hace ocho años.

### **3.7 Manejo del cultivo de maíz y fréjol.**

En las parcelas de escurrimiento superficial con el cultivo de maíz duro variedad Guate y fréjol variedad INIAP 412-Toa, se realizaron con la tecnología local de producción.

### **3.8 Características de la parcela experimental.**

Número de unidades experimentales: 9

Número de tratamientos: 3

Número de repeticiones: 3

Área neta total del experimento: 135 m<sup>2</sup>

Área total del experimento: 247 m<sup>2</sup>

Área total de cada parcela: 15,875 m<sup>2</sup>

#### **3.8.1 Parcela con pasto: Kikuyo establecido.**

Forma de la parcela: rectangular

Largo de la parcela: 5 m

Ancho de la parcela: 3 m

Área de la parcela: 15 m<sup>2</sup>

Largo de la parcela neta: 2 m

Ancho de la parcela neta: 4 m

Área neta de la parcela: 8 m<sup>2</sup>

#### **3.8.2 Parcela con cultivo: maíz.**

Forma de la parcela: rectangular

Distancia de siembra: (0.80 m entre surcos y 0.80 m entre plantas)

Número de surcos: 6

Número de sitios por surco: 4

Número de semillas por sitio: 3 de maíz.

Largo de la parcela: 5 m

Ancho de la parcela: 3 m

Área de la parcela: 15 m<sup>2</sup>

Largo de la parcela neta: 3.2 m

Ancho de la parcela neta: 2.0 m

Área neta de la parcela: 6.4 m<sup>2</sup> (4 surcos y 2 sitios por surco)

### **3.8.3 Parcela con cultivo: fréjol voluble.**

Forma de la parcela: rectangular

Distancia de siembra: (0.80 m entre surcos y 0.40 m entre plantas)

Número de surcos: 6

Número de sitios por surco: 7

Número de semillas por sitio: 3 de fréjol

Largo de la parcela: 5 m

Ancho de la parcela: 3 m

Área de la parcela: 15 m<sup>2</sup>

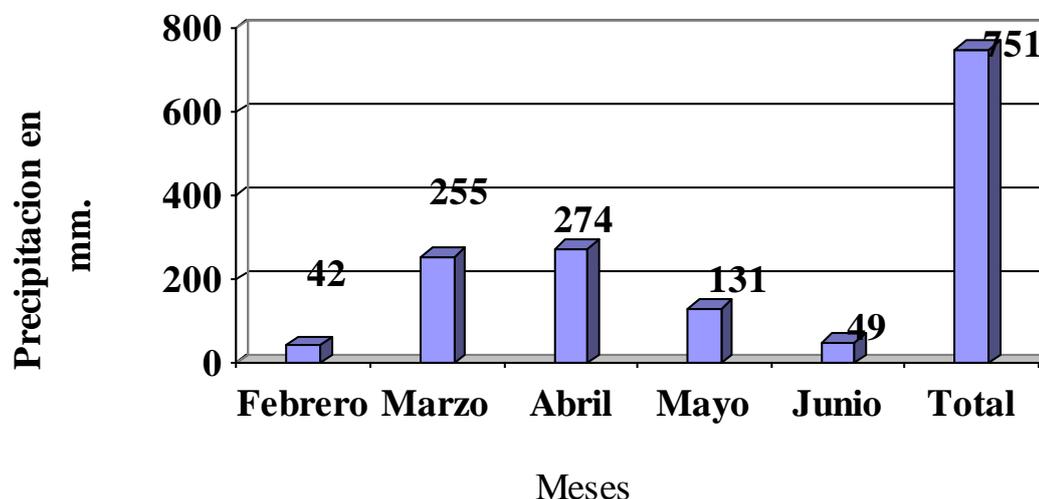
Largo de la parcela neta: 3.2 m

Ancho de la parcela neta: 2.0 m

Área neta de la parcela: 6.4 m<sup>2</sup> (4 surcos y 5 sitios por surco)

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

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



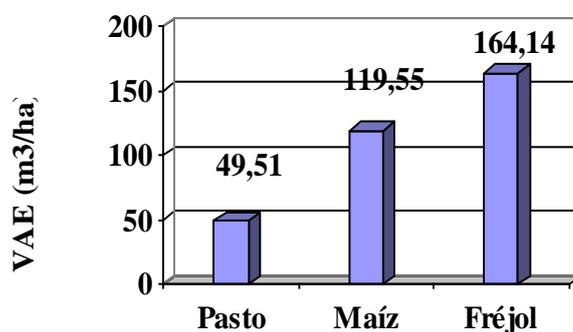
**Gráfico 1.** Distribución mensual de la precipitación en mm. en cinco meses de evaluación, Chillanes, 2007.

El volumen de precipitación registrado durante el ciclo productivo corresponde a  $4\,740\text{ m}^3/\text{ha}$  (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 mayor precipitación mensual correspondió a Abril con 274 mm. La precipitación total durante el ciclo productivo de evaluación alcanzó 751 mm (duración de la época invernal) (Gráfico 1).

**Cuadro 3. 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

#### 4.2 Volumen de Agua Escurrida (VAE)



**Sistemas de producción**

**Gráfico 2.** Volumen de agua escurrida en cinco meses de evaluación en la microcuenca del río Alumbre, Chillanes 2007.

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 pasto con 49,51 m<sup>3</sup>/ha (Cuadro 3 y gráfico 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.

Quizá en el cultivo de fréjol, se evaluó el promedio más alto del VAE, por que inicialmente por época de siembra y el ciclo del cultivo más precoz en comparación al maíz, las parcelas estuvieron con suelo en descanso y en barbecho, lo que pudo incidir en un mayor volumen de escorrentía pero con menor cantidad de sedimentos. Además la época de siembra del fréjol que es en marzo y a pesar de realizar la siembra en labranza reducida; coincide en la etapa juvenil del fréjol con los meses más lluviosos en la zona con 255 mm. en marzo y 274 mm. en abril (gráfico N° 1). 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.

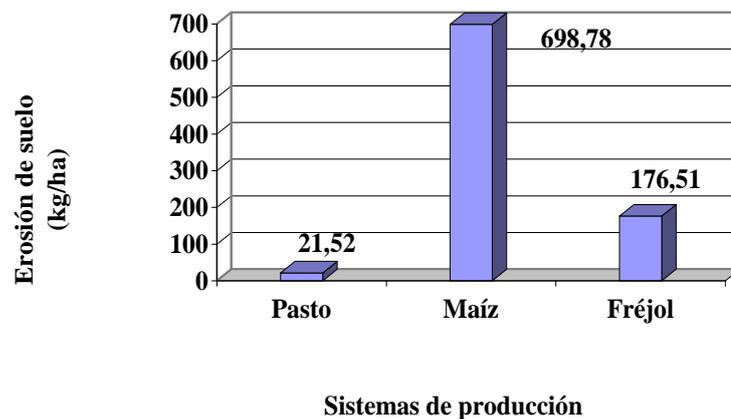
#### **4.3 Peso total de sedimentos en suspensión (PTSS)**

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 3).

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 la variedad que siembran conocida como Guate es de ciclo tardío (10 meses). La larga duración del ciclo productivo implica una mayor exposición del suelo a efectos de la escorrentía en la etapa invernal. El ciclo productivo del fréjol es medianamente precoz, además que la época de siembra se la realiza a la salida del periodo invernal en zonas que disponen de riego. 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.

#### 4.4 Peso total de los sedimentos arrastrados (PTSA)



**Gráfico 3.** Cantidad de suelo erosionado en cinco meses de evaluación en la microcuenca del río Alumbre, Chillanes 2007.

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 3). 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 3 y Gráfico 3).

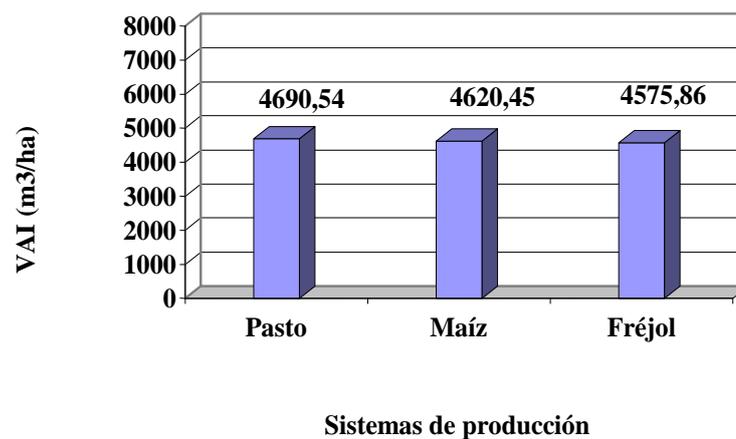
En general, la erosión del suelo reportada en el período de evaluación es baja, considerando la fuerte pendiente de las unidades experimentales de escurrimiento (66%). En el cultivo de maíz se presenta la mayor erosión del suelo (menos de 1 tm/ha). Este comportamiento se debe a la gran capacidad de almacenamiento 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.

#### 4.5 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 (0,034), seguido del coeficiente del cultivo de maíz (0,025) y el menor valor se alcanzó en el pasto (0,010) (Cuadro 3). El coeficiente de escurrimiento, presentó una relación directamente proporcional con el VAE y el VAI.

#### 4.6 Volumen de Agua lluvia infiltrada (VAI)



**Gráfico 4.** Volumen de agua infiltrada en cinco meses de evaluación en la microcuenca del río alumbre, chillanes 2007.

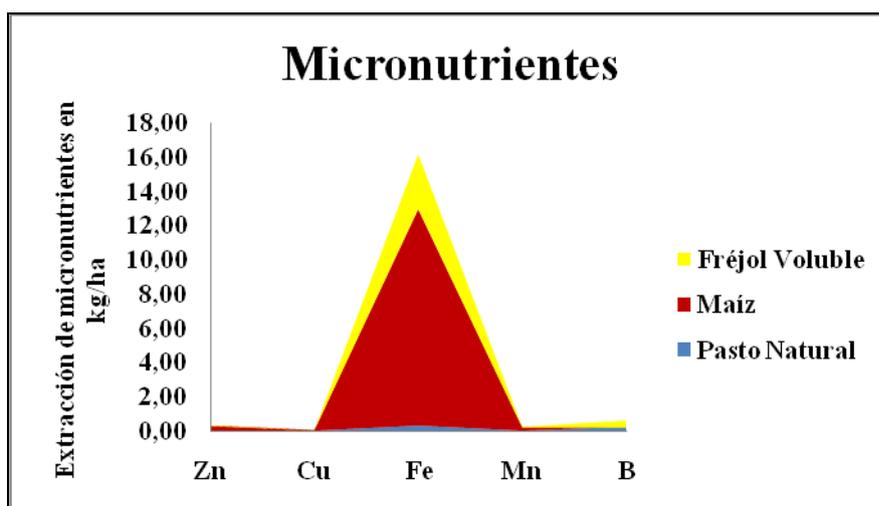
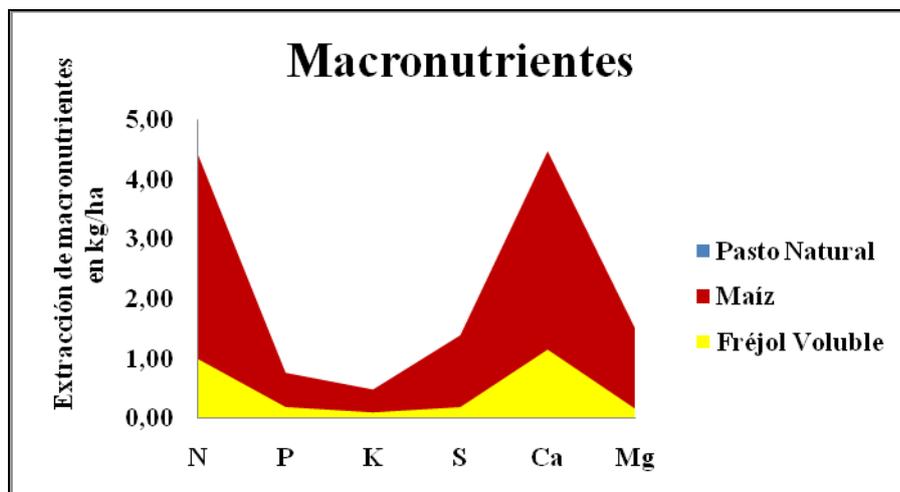
Existió un efecto altamente significativo de los sistemas de producción sobre la variable VAI. El promedio más elevado del volumen de agua infiltrada se registró en el pasto (4 690,54 m³/ha), seguido del cultivo de maíz (4 620,45 m³/ha) y el menor promedio se registró en el cultivo de fréjol (4 575,86 m³/ha) (Cuadro 3 y Gráfico 4). 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.

#### 4.7 Análisis químico del suelo erosionado

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



**Gráfico 5.** Extracción de macro y micronutrientes en tres sistemas de producción, en cinco meses de evaluación, microcuenca del río Alumbre-Ecuador, 2008.

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 4 y

Gráfico 5). De acuerdo a los resultados obtenidos, las pérdidas de nutrientes están directamente relacionadas con la cantidad de suelo perdido y el sistema de producción.

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

<b>Cultivos</b>	<b>Maíz</b>	<b>Fréjol voluble</b>	<b>Pasto naturalizado</b>	<b>Pasto mejorado</b>
Profundidad inicial de la capa arable (cm.)	20.00	20.00	20.00	20.00
Rendimiento (kg/ha/año)	864.00	724.00	6600.00	12000.00
Costos (\$/ha/año)	338.00	364.00	85.00	373.00
Ingresos (\$/ha)	345.60	289.60	70.00	240.00
Pérdida de la lámina de suelo (cm)	0.0178	0.0047	0.0005	0.0005
<b>Valor presente de las pérdidas erosión hídrica en un período de 10 años</b>	<b>-2581.72</b>	<b>-346.50</b>	<b>50.10</b>	<b>917.43</b>

**Cuadro 5.** Valor actual neto (VAN) del costo económico de las pérdidas en la productividad por efecto de la erosión hídrica<sup>1</sup>. Microcuenca del río Alumbre –Ecuador, 2008.

En el sistema productivo del maíz, con el material local utilizado, la lámina de suelo pérdida por efectos de la erosión hídrica alcanza los 1,78 mm por ciclo productivo (10 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 345,60 dólares por hectárea de cultivo. El VAN de la reducción económica es de USD 2581,72 dólares por hectárea.

<sup>1</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.

En el sistema de producción del fréjol la lámina de suelo erosionada es de 0,47 mm por ciclo productivo. La reducción económica en este rubro por la erosión hídrica alcanza el monto de USD 289,60 dólares por hectárea. El VAN de este valor corresponde a USD 346,50 dólares por hectárea.

En el caso de la pastura naturalizada (*Pennissetum clandestinum*) la lámina de suelo erosionada es de 0,05 mm 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 70 dólares por hectárea y el VAN es de USD 50,10 dólares por hectárea (Cuadro 5).

#### **4.9 Coeficiente de variación (CV)**

El CV es un estadístico que indica la consistencia y variabilidad de los resultados estadísticos y se expresa en porcentaje. De acuerdo a muchos investigadores y estadísticos, el valor de CV en las variables que están bajo el control del investigador deben ser inferiores al 20%, sin embargo este valor puede ser superior al 20% en las variables que no dependen del control del investigador. Las variables estudiadas en esta investigación no están bajo el control del investigador, sin embargo se calcularon valores del CV bajos y medianamente altos. Esta respuesta es lógica, ya que estas variables dependen y tienen una fuerte interacción con el medio ambiente, como la temperatura, el viento, humedad relativa, y altas precipitaciones que no se encuentran bajo el control del investigador.

## V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1 Conclusiones

Basándose en los resultados obtenidos en cinco meses de evaluación se realizan las siguientes 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.

## 5.2 Recomendaciones

De acuerdo con los resultados obtenidos y las conclusiones en esta investigación se recomienda:

- 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.
- Motivar a los agricultores que en áreas con pendientes muy pronunciadas el establecimiento de prácticas de conservación de suelos a través de procesos de forestación y reforestación, implementación de obras que pueden ser: terrazas de formación lenta, zanjas de desviación y curvas de nivel, procesos que deben ser el resultados de las iniciativas de los agricultores y que deben ser apoyadas por las instituciones y/o programas competentes en estas áreas.

## **VI. RESUMEN Y SUMMARY**

### **6.1 Resumen**

Este trabajo de investigación se realizó en el año 2007 - 2008, en la localidad de la Vaquería, Parroquia Chillanes, Cantón Chillanes, Provincia Bolívar. En esta investigación se plantearon los siguientes objetivos: determinar la cantidad de suelo que se pierde por efecto del escurrimiento superficial en los sistemas de producción pasto, maíz 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.

En la provincia 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, se realizaron análisis de varianza y prueba del Tukey al 5 %.

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.

Finalmente se recomienda diseñar e implementar alternativas tecnológicas amigables con el ambiente para la producción sostenible de los rubros productivos y económicos de la subcuenca y 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.

## 6.2 Summary

This work of investigation was made in the year 2007 - 2008, in the locality of the Vaquería, Chillanes region, Province Bolivar. In this investigation considered the following objectives: to determine the amount of soil that loses by effect of the superficial draining in the production systems grass, maize and bean in monoculture; to calculate the superficial draining in the production systems; to make the economic analysis of the reduction in the productivity of the headings in study by effect of the hydric erosion.

In the province of Bolivar, 92% of the surface correspond to slope soils, of which 45% are in processes of critical erosion, had mainly to the inadequate use of the farming practices associated to the climatic and edáficas conditions of the zone. The most serious form of degradation of the soil is the caused one by the hydric erosion that depends on the amount, intensity, duration, diameter of the drop of water, speed and kinetic energy of the drops of rain, slope level, cover of the soil and deficient practices of conservation. Of the microriver basin of the Alumbre river, studies are not registered that quantify the degradation of the soil caused by the hydric erosion in the main production systems. Therefore, the INIAP with the support of SANREM CRSP, at random implemented a study with the main cultures of the zone (grass, maize and bean) in Desing of Complete Blocks with three treatments and three repetitions, were made analysis of variance and test of the Tukey to 5%.

The variables that were evaluated are volume of water by precipitation, slipped volume of water, gross weight of sediments in suspension, coefficient of draining, infiltrated volume of water, sediment gross weight per year and the loss of macro and micronutrients. The results show that the production system that favored the loss of soil is the maize. In the production system of grass the smaller amount of loss of soil was registered, thus contributes to the conservation of this resource. The production systems in which the greater superficial draining was registered correspond to bean and maize. In the system maize it is where greater losses of macro and micronutrients of the soil take place. The production system of maize with high precipitation levels favors the superficial draining with greater drag sediments and its direct incidence on the loss of fertility of soil. The production

system of grass favors the greater amount of infiltration of the rainwater. The erosion of the soil not only generates physical and environmental problems in the subriver basin, but in addition socioeconómicas repercussions in the homes, economic losses by the reduction of the productivity of the cultures on which the familiar sustenance depends. Finally it is recommended to design and to implement alternative technological friendly with the environment for the sustainable production of the productive and economic headings of the subriver basin and to generate spaces for the socialization of the information generated to motivate and to enable to agricultores/as in alternatives technological that the conservation of soils in the subriver basin foments.

## VII. BIBLIOGRAFÍA

1. ARMAS, L. 1996. “Plan de Manejo, aprovechamiento y conservación de los microcuencas de Arco Cucho y Ladrillos Flanco oriental de la parte alta de Volcán Pichincha”. Tesis de grado Ing. Agr. Universidad Central del Ecuador. Facultad Ciencias Agrícolas. Quito, Ecuador Pág. 124.
2. BARRERA, V., CÁRDENAS, F., ESCUDERO, L. y ALWANG, J. 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. Guaranda, Ec. Proyecto INIAP-SANREM Pág. 11 – 15.
3. CENTRO INTERNACIONAL DE AGRICULTURA TROPICAL. FAO. Manual de Practicas Integradas de Manejo y Conservación de suelos. Boletín de Tierras y Aguas de la FAO.  
  
[http://www.fao.org/ag/ags/AGSE/agse\\_s/7mo/iita/iita.htm](http://www.fao.org/ag/ags/AGSE/agse_s/7mo/iita/iita.htm)  
(Consultado: 05/10/2007)
4. CARVAJAL, M. 1992. Estudio de la erosión y prácticas de conservación de suelos mediante cuatro parcelas experimentales en Mojanda-Cajas. Tesis. Ing. Agr. Quito, Ec. Universidad Central del Ecuador, Facultad de Ciencias Agrícolas Pág. 31 – 36.
5. CARVAJAL, M. 1990. “Estimación de la erosión hídrica y control mediante barreras de pastos en cultivos de maíz”. Tumbaco – Pichincha. Tesis de grado Ing. Agr. Universidad Central del Ecuador. Facultad de Ciencias Agrícolas, Quito Ecuador Pág. 49 – 66.

6. CUEVA, C. 1998, “Estudios de la erosión de algunos suelos representativos en una toposecuencia de la cuenca de Rumihurco” Tesis de grado Ing. Agr. Universidad Central del Ecuador, Facultad de Ciencias Agrícolas, Quito, Ecuador 105 Pág.
7. CISNEROS, E. 1989. Estimación de la pérdida de suelo producida por erosión hídrica en cultivos de cebada. Cajas-Monjada-Pichincha. Tesis de grado. Ing. Agr. Universidad Central del Ecuador. Facultad de Ciencias Agrícolas. Quito, Ecuador Pág. 65 – 80.
8. ESCOBAR, J.; AGREDA, V. y AGÜERO, J. 1998. Los determinantes de la asignación del trabajo entre actividades Agrícolas y no Agrícolas en el sector rural de Perú Pág. 36-45.
9. ESPINOSA, P. 1993, Caracterización por erosión de las cuencas hidrográficas de la sierra ecuatoriana, Quito. Ecuador, primera edición Pág. 85-98.
10. FUNDACIÓN HONDUREÑA DE INVESTIGACIÓN AGRÍCOLA. 2004 FHIA. UNIÓN EUROPEA. UE. Guía sobre prácticas de conservación de suelos. Proyecto UE – CUENCAS. La lima Honduras 18 Pág.
11. FOSTER, A. 1990. Métodos Aprobados de Conservación de Suelos. Sexta reimpresión. México 426 Pág.
12. FLORES, C. R. 1979. Medición de las características de erosionabilidad de un suelo Entic Distrandep. Tesis de grado. Guayaquil: Universidad de Guayaquil Pág. 19.
13. GALLARDO G. 2000. Informe Final Memoria Técnica Programa de manejo integrado de recursos naturales en cuencas hidrográficas y un plan de inversiones, en el sector agropecuario Pág. 52-60.

14. GREGOIRE Y TRUJILLO. 1990. Estudio de la erosión en una comunidad indígena de la Sierra ecuatoriana: Manifestaciones, causas y métodos de conservación de suelos. PRONACOS – MAG. Quito, Ecuador Pág. 57.
15. HENESAL, P. 2002. La erosión externa de suelos por el agua. Rapp. Francia. Pág. 75.
16. INIAP-SANREM-CRSP-ECOPAR-ECOCIENCIA-SIGAGRO, 2006. Estudio de la línea base para el desarrollo del proyecto SANREM Pág. 68
17. LLANGARI, P. 1999. Análisis ex - ante de los Sistemas de Producción de Chimborazo a fin de obtener una maximización de Beneficios Netos. Tesis Maestría Universidad Internacional SEK Riobamba – Ecuador Pág. 8-82.
18. NARVÁEZ, W. 1986. Pérdida de nutrientes del suelo por efecto de la erosión hídrica, bajo diferentes sistemas de siembra en el cultivo de avena. Cutuglagua-Pichincha. Tesis Licenciatura. Quito: Universidad Central del Ecuador. Facultad de Filosofía Letras y Ciencias de la Educación Pág. 111.
19. MEMORIAS DEL II CONGRESO NACIONAL DE LA CIENCIA DEL SUELO. 2001. Sociedad Boliviana de la Ciencia del Suelo Filial Cochabamba. Cochabamba Bolivia Pág. 460.
20. MENARD, H. W. 2005. Sediment Movement in Relation to Current Velocity. Journal of Sedimentary Petrology, Vol.20, Nro.3 USA Pág.148-160
21. MONAR, C. 2007. Informe anual. UVTT/C. INIAP Estación Experimental Santa Catalina. Guaranda Ecuador Pág. 22.

22. MONAR, N. 1997 Análisis Cuantitativo de los Procesos de Erosión en el sector Septentrional del Río Chimbo. Tesis Previa la Obtención del Título de Ingeniero Agrónomo, Chimbo-Ecuador.
23. MORGAN, R. 1996. Erosión y conservación de suelos, ediciones Mundi-prensa, España Pág. 150.
24. ORQUERA, A. 1996 Manual de control de la erosión y conservación de suelos. Universidad Central del Ecuador. Facultad de Ciencias Agrícolas. Quito, Ecuador Pág. 17-25.
25. PROCIANDINO. 1990. Manejo y conservación de suelos. Diagnóstico y proyecciones para el PROCIANDINO, Subprograma Quito, Ecuador Pág. 25.
26. PRONAREG – MAG. 1982. cartas y leyendas de suelos del Ecuador. Escala 1:250000. Quito, Ecuador Pág. 25-30.
27. PROYECTO DE FOMENTO GANADERO (PROFOGAN); MINISTERIO DE AGRICULTURA Y GANADERÍA (MAG) Y DEUTSCHE GESELLSCHAFT TECHNISCHE FOR ZUSAMMENARBEIT (GTZ). 1996. Proceso de Análisis y Mejoramiento de los Sistemas de Producción en Chimborazo. Riobamba-Ecuador Pág. 34-208.
28. PERFILES DE PROYECTOS “Ecuador: Manejo de los Recursos Naturales” (<http://www.rcfa-cfan.org/spanish/s.profile.13.html>) (consultado 10/11/2007).
29. QUIÑONES E. y R. LÓPEZ, 1997. Riesgos de la degradación de los suelos por erosión hídrica en el Estado Mérida, Venezuela. Aplicación de un sistema de información geográfica, revista geográfica Venezolana, Pág. 101 – 121.
30. RODRÍGUEZ, F. 1999. Manual de Conservación de Suelos. Universidad técnica de Ambato, Ambato-Ecuador Pág. 66.

31. SISTEMA DE INFORMACIÓN AGROPECUARIA – SIGAGRO. 2007  
Mapas de suelos y mapas de uso y cobertura del suelo, de las Microcuencas Illangama y Alumbre, de la Subcuenca del río Chimbo de la provincia de Bolívar elaborados por SIGAGRO-IGM 2006, Escala 1:25000 y Escala 1: 50000.
32. TAYUPANTA, J. 1993. La Erosión Hídrica: Procesos, Factores y Formas. Estación Experimental santa Catalina. INIAP. Boletín Divulgativo No. 229. Quito Ecuador Pág. 12.
33. TAYUPANTA, J., 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. Pág. 40.
34. 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.
35. VÁSQUEZ W. 1991. Fundagro; Estudio de fertilización. Tipos de suelo, comportamiento de suelo. Aplicaciones fuentes de Materiales.
36. WILSON, S. 1980, “Soil erosion” Editado por M. J. Kirkby y R. P. C. Morgan, Estudiantes de investigación de NERC, Bedford College, Londres R. V. Italia Pág. 266 – 282.
37. WINTERS, P. et. al. 1998. Manejo de los recursos en los andes ecuatorianos. Quito Ecuador Pág. 60.
38. YANCHAPAXI G, y POZO M. 1995. “Manual ambiental de control de la erosión y conservación de suelos”. Quito, Instituto Interamericano de cooperación para la Agricultura, Ministerio de Bienestar Social, Quito, Ecuador Pág. 178.