

**Universidad Nacional Agraria  
La Molina**

*Facultad de Ingeniería Agrícola*

*Departamento de Recursos de Agua y Tierra*



**Evaluación de la Erosión  
Hídrica en la Zona de  
Chanchamayo - Junín, utilizando  
como Cobertura Vegetal  
el Cultivo de Camote  
(*Ipomoea batatas L.*)**

***Tesis para optar el Título de  
INGENIERO AGRICOLA***

**Rocío del Pilar Pastor Jáuregui**

*Lima - Perú*

*1 9 9 2*

## INDICE

	<b>pag.</b>
<b>Indice de Cuadros</b>	vii
<b>Indice de Figuras</b>	viii
<b>Indice de Gráficos</b>	ix
<b>RESUMEN</b>	<b>x</b>
<b>I. INTRODUCCION</b>	<b>1</b>
<b>II. REVISION DE LITERATURA</b>	<b>3</b>
2.1 Concepto de la erosión hídrica	3
2.2 Mecánica de la erosión hídrica	3
2.2.1 Etapa de desprendimiento	3
2.2.2 Etapa de arrastre o transporte	4
2.3 Tipos de erosión hídrica	4
2.3.1 Por movimiento de partículas	5
a. Erosión laminar	5
b. Erosión por surcos	5
c. Erosión por cárcavas	5
d. Erosión fluvial	6
2.3.2 Por transporte de masas	6
a. Derrumbes	6
b. Deslizamientos	6
c. Flujos o huaycos	7
d. Mixtos	7
2.4 Factores que intervienen en el proceso de la erosión hídrica	7
2.4.1 Factor lluvia	8

a.	Energía de la lluvia	8
b.	Intensidad de las lluvias	9
c.	Distribución y tamaño de las gotas de lluvia	12
d.	Velocidad terminal de la lluvia	13
e.	Cantidad de lluvia	15
f.	Duración y frecuencia de las lluvias	15
g.	Velocidad del viento	16
h.	Dirección de la pendiente	17
2.4.2	Factor suelo	17
a.	Textura	18
b.	Estructura	19
c.	Humedad del Suelo	20
d.	Estabilidad estructural	21
e.	Contenido de materia orgánica	22
2.4.3	Factor topografía	23
a.	Longitud de la pendiente	24
b.	Grado de inclinación de la pendiente	26
c.	Forma de la pendiente	27
2.4.4	Factor cobertura vegetal	28
2.4.5	Factor actividad humana	31
2.5	Ecuación universal de pérdida de suelo	34
2.5.1	Capacidad erosiva de la lluvia (R)	35
2.5.2	Erodabilidad de los suelos (K)	35
2.5.3	Longitud e inclinación de la pendiente (LS)	36
2.5.4	Cobertura y manejo de los suelos (C)	36

2.5.5	Prácticas de conservación (P)	36
2.6	Medidas para controlar la erosión hídrica	37
2.6.1	Medidas agronómico-culturales	38
a.	Prácticas basadas en el manejo de suelos	38
.	Utilización de los suelos de acuerdo a su capacidad de uso	38
.	Adecuadas prácticas de labranza	38
.	Uso de enmiendas orgánicas	39
.	Empleo de mulching o cobertura muerta	39
b.	Prácticas basadas en curvas de nivel	40
.	Cultivos en contorno	40
.	Cultivos en fajas	41
.	Barreras vivas	41
.	Cordones de piedra	42
c.	Prácticas basadas en el manejo de cultivos	42
.	Rotación de cultivos	42
.	Cultivos asociados	43
.	Protección del suelo por vegetación	43
2.6.2	Prácticas forestales-agrostológicas	43
2.6.3	Prácticas mecánico-estructurales	44
a.	Conducción y evacuación de agua	44
b.	Tratamiento de laderas	44
c.	Consolidación de márgenes	44
d.	Retención de sedimentos	45

e.	Regulación y almacenamiento de Agua	45
f.	Disipación de energía	45
2.7	Parcelas de Escorrentía	45
2.8	Pérdida de nutrientes en el agua de escorrentía y en los sedimentos por efecto de la erosión	47
2.9	El cultivo de camote	50
<b>III.</b>	<b>MATERIALES Y METODOS</b>	<b>52</b>
3.1	Materiales	52
3.1.1	Zona de estudio	52
a.	Ubicación	52
b.	Vías de comunicación	52
c.	Fisiografía	52
d.	Ecología	54
e.	Clima	54
.	Temperatura.	54
.	Precipitación.	54
.	Humedad relativa.	55
.	Vientos.	56
f.	Suelos	56
g.	Erosión	57
h.	Uso actual de los suelos	58
3.1.2	Materiales utilizados en la fase de campo	58
3.1.3	Materiales utilizados en la fase de laboratorio	60

3.2	Métodos	60
3.2.1	Fase de campo	60
a.	Actividades previas	60
b.	Instalación de las parcelas de escorrentía	61
c.	Descripción de los tratamientos	63
.	Tratamiento 1 - Vegetación natural	64
.	Tratamiento 2 - Surcos a favor de la máxima pendiente	64
.	Tratamiento 3 - Surcos en contorno con aporque	64
.	Tratamiento 4 - Surcos en contorno sin aporque	64
.	Tratamiento 5 - Suelo desnudo	65
d.	Medidas de campo	65
3.2.2	Fase de laboratorio	66
a.	Partículas en suspensión	66
b.	Partículas de fondo	67
c.	Pérdida de nutrientes en el agua de escorrentía	67
d.	Pérdida de nutrientes en los sedimentos erosionados	67
3.2.3	Fase de gabinete	67
a.	Agua evaporada total	67
b.	Escorrentía total	68
c.	Peso total de las partículas en suspensión	68
d.	Peso total de las partículas de fondo	68
e.	Pérdida total de suelo	69

f. Pérdida de nutrientes	69
g. Análisis estadístico	69
<b>IV. RESULTADOS Y DISCUSION</b>	<b>70</b>
4.1 Variación de la escorrentía y erosión debida a los tratamientos	70
4.1.1 Pendiente 30 %	70
4.1.2 Pendiente 35 %	72
4.1.3 Pendiente 40 %	74
4.1.4 Pendiente 45 %	76
4.1.5 Pendiente 50 %	78
4.1.6 Pendiente 60 %	80
4.2 Discusión sobre la variación de la escorrentía y de la erosión debida a los tratamientos	82
4.3 Discusión sobre la variación de la escorrentía y de la erosión debida a las pendientes	85
4.4 Rendimientos	88
4.5 Pérdida de nutrientes	92
4.5.1 En el suelo erosionado	92
4.5.2 En el agua de escorrentía	95
4.6 Análisis de regresión múltiple	98
<b>V. CONCLUSIONES</b>	<b>99</b>
<b>VI. RECOMENDACIONES</b>	<b>103</b>
<b>VII. BIBLIOGRAFIA</b>	<b>104</b>
<b>ANEXOS</b>	

## INDICE DE CUADROS

Nº		pag.
1.	Clasificación de las lluvias	10
2.	Relación entre el tamaño de gota y la velocidad terminal	13
3.	Efecto de la velocidad del viento en la disturbación del suelo	17
4.	Velocidad requerida para mover las partículas	19
5.	Pérdida del suelo para varias longitudes de pendiente	26
6.	Relación del ancho de faja con la pendiente del terreno	41
7.	Relación del distanciamiento de las barreras vivas con la pendiente del terreno	42
8.	Variación mensual de la precipitación en San Ramón	55
9.	Variación de la escorrentía y de la erosión debida a los tratamientos. Pendiente 30%	70
10.	Variación de la escorrentía y de la erosión debida a los tratamientos. Pendiente 35%	72
11.	Variación de la escorrentía y de la erosión debida a los tratamientos. Pendiente 40%	74
12.	Variación de la escorrentía y de la erosión debida a los tratamientos. Pendiente 45%	76

13. Variación de la escorrentía y de la erosión debida a los tratamientos. Pendiente 50%	78
14. Variación de la escorrentía y de la erosión debida a los tratamientos. Pendiente 60%	80
15. Rendimiento total (tn/ha)	88
16. Rendimiento comercial y no comercial total (tn/ha)	91

#### INDICE DE FIGURAS

<b>Nº</b>	<b>Pag.</b>
1. Ubicación geográfica de la zona de estudio	53
2. Ubicación de las parcelas indicando pendientes	62

## INDICE DE GRAFICOS

<b>Nº</b>		<b>Pag.</b>
1.	Variación de la escorrentía y de la erosión debida a los tratamientos. Pendiente 30%	71
2.	Variación de la escorrentía y de la erosión debida a los tratamientos. Pendiente 35%	73
3.	Variación de la escorrentía y de la erosión debida a los tratamientos. Pendiente 40%	75
4.	Variación de la escorrentía y de la erosión debida a los tratamientos. Pendiente 45%	77
5.	Variación de la escorrentía y de la erosión debida a los tratamientos. Pendiente 50%	79
6.	Variación de la escorrentía y de la erosión debida a los tratamientos. Pendiente 60%	81
7.	Rendimiento total (tn/ha)	89
8.	Rendimiento comercial (%)	91
9.	Pérdida total de nutrientes en el suelo erosionado	93
10.	Pérdida total de nutrientes en el agua de escorrentía	96

## RESUMEN

El presente estudio sobre la erosión hídrica, se realizó en una ladera de la selva alta Central del Perú, en San Ramón, provincia de Chanchamayo, departamento de Junín, región Andrés A. Cáceres, durante la primera campaña agrícola 1991.

Se utilizaron parcelas de escorrentía con lluvia natural, para evaluar la pérdida de suelo, agua y nutrientes, variando la pendiente y las prácticas culturales, así como la eficiencia del cultivo de camote como cobertura vegetal.

Se probaron cinco tratamientos: vegetación natural, cultivo de camote en surcos a favor de la máxima pendiente, cultivo de camote en surcos en contorno con aporque, cultivo de camote en surcos en contorno sin aporque y suelo desnudo, en las pendientes: 30%, 35%, 40%, 45%, 50% y 60%. Se registraron 62 eventos de lluvia, totalizándose 1030 milímetros durante el período de evaluación.

Las mayores pérdidas de suelo se registraron en el tratamiento suelo desnudo, con valores que oscilaron entre 3,12 tn/ha en la pendiente 50% y 14,88 tn/ha en la pendiente 30%. Para los tratamientos con cobertura estos valores fluctuaron entre 0,44 tn/ha, para el tratamiento vegetación natural de la pendiente 30% y 4,01 tn/ha para el tratamiento surcos a favor de la máxima pendiente, de la pendiente 45%.

La escorrentía presentó los valores más altos en el tratamiento suelo desnudo, oscilando entre 4,08 % de lluvia escurrida en la pendiente 60% y 6,08% de lluvia escurrida para la pendiente 30%. Para los tratamientos con cobertura estos valores fluctuaron entre 2,04 % de lluvia, en el tratamiento

surcos en contorno con aporque de la pendiente 50% y 5,72 % de lluvia para el tratamiento surcos a favor de la máxima pendiente, en la pendiente 30%.

Los menores valores se presentaron en la pendiente 50%, para el tratamiento surcos en contorno sin aporque, con 0,55 tn/ha de suelo erosionado y 2,28 % de lluvia escurrida, los cuales redujeron la pérdida de suelo en 82% y la escorrentía en 52%, comparado con los obtenidos para el tratamiento suelo desnudo de esta misma pendiente.

La cobertura de camote fue eficiente en reducir las pérdidas de suelo por efecto de la erosión hídrica y las pérdidas de agua por escorrentía, determinándose que entre los sistemas de siembra probados, los surcos en contorno brindan la alternativa de conservación de suelos más viable para el sistema de camote de la zona.

La producción de camote obtenida fue alta debido a que las condiciones de manejo agronómico fueron apropiadas, teniendo en cuenta que el período vegetativo del cultivo se inició con la época de lluvias y la cosecha coincidió con la época seca, tomando las medidas necesarias para proteger el suelo del peligro de la erosión eólica.

La pérdida de nutrientes en el agua de escorrentía y en el suelo erosionado estuvo en relación directa con la concentración de dichos nutrientes en el agua y en el suelo así como con la cantidad de escorrentía y erosión registrada; presentando las mayores pérdidas el tratamiento suelo desnudo. Se perdieron mas nutrientes en el agua de escorrentía que en el suelo erosionado.

## I INTRODUCCION

Uno de los problemas que más afecta a los agricultores de nuestro país, especialmente de la sierra y selva alta, es la pérdida de suelo debido a la ausencia total o parcial de prácticas de conservación de los mismos, generándose una continua erosión, lo cual conlleva a la disminución progresiva de la producción agrícola.

Para incrementar la producción se requiere aumentar la productividad del recurso tierra, compensando las pérdidas de su potencial productivo, para lo cual se debe hacer uso de sistemas apropiados de manejo.

La ceja de selva, que representa un 36% del territorio Amazónico, por sus condiciones topográficas, climáticas y edáficas, unido a las prácticas deficientes de manejo, se convierte en una zona altamente susceptible a la pérdida de agua, suelo y nutrientes en los terrenos de cultivo, sobre todo en las zonas de laderas, superando a la ocurrida en las regiones templadas.

Son pocos los estudios realizados sobre este tema en nuestro país, especialmente en la zona tropical, en comparación con estudios efectuados en otros países, tanto de zonas templadas como tropicales.

Por estas razones se realizó el presente trabajo de investigación en una zona de laderas circundantes al valle de Chanchamayo (San Ramón), donde la erosión hídrica adquiere valores alarmantes porque a la característica de la escasa profundidad del suelo se une la pérdida de las aguas ocasionadas por la abundante precipitación de alta intensidad y por la deforestación de las cumbres y laderas, dando lugar a procesos erosivos, degradación de suelos y escurrimiento de las aguas, reduciendo

evidentemente las áreas cultivables y la productividad, ocasionando problemas de orden socio-económicos.

En esta investigación, se utilizó el método de parcelas de escorrentía para evaluar la eficiencia de tres sistemas de manejo en seis pendientes diferentes, cuantificando las pérdidas de suelo, agua y nutrientes, utilizando el cultivo de camote (*Ipomoea batatas* L.) como cobertura vegetal.

#### **OBJETIVOS:**

Los objetivos del trabajo fueron:

- Evaluar cuantitativamente la pérdida de suelo y la escorrentía por la acción erosiva de las lluvias, en parcelas de escorrentía con lluvia natural, variando la pendiente y las prácticas culturales.
- Evaluar los efectos de la variación de la pendiente y de las prácticas culturales en la pérdida de suelo, agua y nutrientes.
- Evaluar la eficiencia del cultivo de camote como cobertura vegetal, para la disminución de la erosión hídrica, así como su rendimiento.

## **II REVISION DE LITERATURA**

### **2.1 CONCEPTO DE LA EROSION HIDRICA**

La erosión hídrica es un proceso físico, definido como el desprendimiento y arrastre de partículas de suelo por acción del agua de la lluvia. Las gotas de lluvia desprenden el suelo y el agua de escorrentía es la encargada de realizar el transporte y la sedimentación (Paulet, 1967; Hudson, 1982).

La erosión hídrica es el proceso causado por acción del agua, por lo general, de la lluvia que llega sobre la superficie del suelo, parte de ella se infiltra y parte escurre sobre la superficie, transportando el material suelto en suspensión (La Torre, 1985).

### **2.2 MECANICA DE LA EROSION HIDRICA**

Low y Paulet (1967) y Meyer (1984), mencionan que la mecánica de la erosión consiste en dos procesos: el desprendimiento de las partículas del suelo y su transporte.

#### **2.2.1 Etapa de desprendimiento**

Consiste en la dispersión de las partículas del suelo por la acción del impacto de las gotas de lluvia sobre la superficie y por el constante choque de las mismas que mantienen en suspensión las partículas finas y en rodamiento las partículas gruesas.

En esta etapa tiene importancia la cubierta vegetal, puesto que suelos desprovistos de vegetación son más susceptibles al desprendimiento.

Kirkby (1984), indica que el agente principal para el desprendimiento de las partículas del suelo son las gotas de lluvia. Mientras mayor sea la velocidad del impacto de las gotas de lluvia, mayor será la cantidad de suelo esparcido.

### **2.2.2 Etapa de arrastre o transporte**

El transporte es el movimiento neto de suelo, cuando es arrastrado por la escorrentía de un lugar a otro. Para que haya transporte debe haber escorrentía y ésta sólo se produce cuando la velocidad de infiltración es menor que la intensidad de precipitación.

La capacidad erosiva del escurrimiento superficial está determinada por la cantidad, intensidad y distribución de las gotas de lluvia.

En general el desprendimiento es mayor al aumentar el tamaño de las partículas de suelo, mientras que el transporte aumenta al disminuir dicho tamaño. Resulta que las partículas de arcilla se desprenden con mayor dificultad que los granos de arena, pero en cambio son más fáciles de transportar que éstas (FAO, 1967).

## **2.3 TIPOS DE EROSION HIDRICA**

La acción del agua se manifiesta en diversos tipos o formas de erosión: erosión laminar, erosión en surcos, erosión en cárcavas y formas diversas de remoción en masa. La erosión laminar y en surcos son las más dañinas, aunque menos espectaculares que las otras formas (Dourojeanni y Paulet, 1967).

La erosión hídrica puede presentarse de las siguientes formas:

### **2.3.1 Por movimiento de partículas**

Es el movimiento y transporte de partículas individualizadas, pudiendo presentarse en las siguientes formas:

#### **a. Erosión Laminar**

La erosión laminar es la forma más común, la menos notable y probablemente la más dañina al lavar el suelo más fértil (FAO,1967).

Esta erosión consiste en la remoción de capas delgadas y más o menos uniformes de suelo sobre toda una área, ocasionado por el impacto de las gotas de la lluvia sobre un suelo mal protegido y por el arrastre posterior de dichas partículas por la escorrentía (Bennet, 1965; Suárez de Castro, 1979; Low y Paulet, 1967).

#### **b. Erosión por Surcos**

La erosión por surcos ocurre por pequeñas irregularidades en la topografía del terreno; el agua superficial se concentra en las depresiones hasta adquirir volumen y velocidad suficiente para hacer cortes y formar surcos que se destacan en el terreno, adoptando una trayectoria de mínima resistencia. Ocurren especialmente durante aguaceros de gran intensidad y en terrenos con pendientes pronunciadas. Con operaciones de labranza fácilmente se pueden hacer desaparecer estos surcos (FAO, 1967; Low y Paulet, 1967; Suárez de Castro, 1979).

#### **c. Erosión por Cárcavas**

La erosión por cárcavas se presenta generalmente al aumentar el escurrimiento en volumen y en velocidad, produciendo una gran

concentración de la escorrentía en determinadas zonas del terreno o también cuando año tras año se permite que vayan ampliándose los surcos, al correr el agua por los mismos un tiempo suficiente para la formación de cárcavas. Esta forma de erosión se produce frecuentemente después de la erosión laminar y de la erosión en surcos (FAO, 1967; Low y Paulet, 1967; Suárez de Castro, 1979).

#### **d. Erosión Fluvial**

La erosión fluvial se produce en los cauces, al transportar el material del lecho y de los lados de una quebrada o de una corriente. La arena que se sedimenta disminuye la capacidad de transporte, ocasionando la inundación.

### **2.3.2 Por transporte de masas**

Es el desprendimiento y movimiento de masas de suelo ocasionado por la acción del agua.

#### **a. Derrumbes**

El derrumbe es la caída de masa de suelo por la pérdida de equilibrio de un talud. El agua actúa directamente en esa zona produciendo socavación.

#### **b. Deslizamientos**

Esta erosión masiva del suelo ocurre donde hay una capa de arcilla que se satura con agua, permitiendo que la masa de suelo resbale hacia las áreas bajas.

Para que este movimiento ocurra deben existir las siguientes condiciones (Low y Paulet, 1967):

- . Una pendiente lo suficientemente inclinada.
- . Una capa de baja permeabilidad debajo de la superficie.
- . La suficiente cantidad de agua para saturar el suelo por sobre la capa impermeable.

#### **c. Flujos o Huaycos**

Esta erosión se produce al humedecerse el suelo a tal grado que permite la formación de un fluido viscoso que al mezclarse con el material sólido fluyen pendiente abajo.

#### **d. Mixtos**

- . Aluviones.- se produce por el represamiento de algún cauce que posteriormente tiene un desfogue, arrastrando el material que encuentra a su paso.
- . Avalanchas.- es la caída de nieve o hielo que también arrastra el material que encuentra a su paso.
- . Reptación.- es una erosión muy lenta que se produce pendiente abajo y que va avanzando partícula a partícula.

## **2.4 FACTORES QUE INTERVIENEN EN EL PROCESO DE LA EROSION HIDRICA**

La erosión del suelo por el agua es un proceso multicondicionado donde intervienen varios factores, siendo los principales: la lluvia, el suelo, la topografía, la cobertura vegetal y la actividad humana.

Dourojeanni y Paulet (1967), clasifican estos factores según su acción, en activos y pasivos. El factor activo es la lluvia mientras que los factores pasivos son el suelo, la topografía y la cobertura vegetal.

La actividad humana puede actuar sobre los factores pasivos para minimizar el efecto de las precipitaciones y reducir la energía del agua de escurrimiento (Suárez de Castro, 1979).

#### **2.4.1 Factor Lluvia**

La erosividad de la lluvia (factor R en la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo) expresa la potencialidad de ésta de causar escurrimiento y erosión. Está en función de las características físicas de la lluvia y constituye junto con la pendiente las dos características de mayor influencia en la determinación de los riesgos de erosión hídrica (Páez y Rodríguez, 1984).

La erosión hídrica causada por el factor lluvia depende de:

##### **a. Energía de la Lluvia**

El proceso de erosión requiere de energía; gran parte de la cual es suministrada por las gotas de lluvia.

Varios autores concuerdan que la energía cinética de la lluvia es el factor inicial que produce la separación de las partículas que conforman los agregados del suelo, ocasionando la erosión.

La energía cinética de la lluvia depende de sus cuatro características: intensidad, cantidad, duración y frecuencia.

Wischmeier (1959), conociendo el tamaño de las gotas y su velocidad terminal, obtuvo una alta correlación entre la intensidad de las lluvias y su energía, expresando la energía cinética por medio de la siguiente ecuación:

$$Ec = 1,214 + 0,887 \log I$$

donde:

Ec: energía instantánea ( $\text{kgm/m}^2\text{-mm}$  de lluvia)

I: intensidad de la precipitación pluvial ( $\text{mm/hr}$ )

Para obtener la energía cinética total de la lluvia:

$$EcT = Ec * \Sigma La$$

donde:

EcT: energía cinética total de la lluvia ( $\text{kgm/m}^2$ )

La : lámina de agua caída en cada período considerado del registro (mm).

#### **b. Intensidad de las Lluvias**

La intensidad de la lluvia es el factor más importante que afecta la erosión y la escorrentía. Se puede definir como la cantidad de agua que cae por unidad de tiempo, expresándose generalmente en  $\text{cm/hr}$  o  $\text{mm/hr}$ .

La energía de una lluvia o su capacidad para producir erosión está en función directa con la intensidad. Cuando mayor es la intensidad, mayor será la masa de agua que cae, mayor su velocidad y mayor la fuerza de impacto de la lluvia por unidad de área.

Las lluvias de las zonas tropicales son más erosivas que las lluvias de zonas templadas a causa de su alta intensidad. La mayoría de las lluvias de las zonas tropicales están en la categoría de lluvias erosivas, mientras sólo del 5% al 10% de las lluvias en zonas templadas son erosivas (Greenland y Lal, 1977).

Según Low y Paulet (1967), la intensidad de las lluvias se puede clasificar como sigue:

**Cuadro N° 1: Clasificación de las lluvias**

Intensidad de Lluvia (mm/hora)	Denominación
< 6,5	ligera
6,5 a 13,0	moderada
13,0 a 52,0	fuerte
> 52,0	severa

La intensidad puede relacionarse con el suelo erodado o con la energía cinética según las siguientes ecuaciones:

Neal (1938):

$$E = KI^{1,2}$$

donde:

E: peso de suelo erodado en 1/100 de acre (lbs)

K: constante de la pendiente

I: intensidad de la lluvia (pulg/hr)

Wischmeier y Smith (1958), encontraron para latitudes medias:

$$E = 210,3 + 88,7 \log I$$

donde:

E: energía cinética (tn/ha por cm de lluvia)

I: intensidad de la lluvia (cm/hr)

Ellos realizaron estudios en Estados Unidos demostrando que la intensidad máxima en 30 minutos es el intervalo mejor correlacionado con la pérdida de suelo.

El Índice de Erosión en 30 minutos ( $EI_{30}$ ), es un índice de lluvia apropiado para estimar el potencial de la lluvia que causa erosión porque posee un alto coeficiente de correlación con las pérdidas del suelo y con la escorrentía. Representa los efectos totales del impacto de las gotas de lluvia.

Este índice se calcula para eventos individuales mediante registros pluviográficos diarios o semanales, identificando intervalos de 30 minutos como mínimo. Se calcula utilizando todas las lluvias que exceden o igualen al centímetro de altura de agua y se consideran independientes cuando están separadas por períodos de seis horas o más.

Greer (1971), citado por Mamani (1990), comparó las pérdidas de suelo en parcelas con pendientes de 2%, 5% y 10% encontrando que las lluvias de alta intensidad aportaron el 37% del total de la lluvia y produjeron el 59%, 55% y 54% del total de la escorrentía y el 80%, 78% y 73% del total de suelo perdido por erosión, respectivamente.

Páez y Rodríguez (1984), analizaron los resultados de pérdidas de suelo obtenidas en parcelas de erosión con lluvias naturales. Observaron que apenas un 10% de los eventos produjeron casi 40% de las pérdidas de suelo y representaron 55% de la erosividad total. Esta tendencia es explicada porque el mayor número de eventos se ubica en pequeñas tormentas de baja erosividad ( $EI_{30}$  menores de 10), de los cuales un 44% son tormentas menores de 12,7 mm con  $EI_{30}$  menores de 3, las cuales producen

apenas 14% de las pérdidas de suelo. Este comportamiento se invierte en las grandes tormentas con valores de  $EI_{30}$  superiores a 50, de las cuales un 10% produce casi 40% de las pérdidas totales.

### **c. Distribución y Tamaño de las Gotas de Lluvia**

Existe una estrecha relación entre el tamaño de las gotas de lluvia y su intensidad.

Las lluvias de baja intensidad generalmente son prolongadas, de bajo volumen y gotas pequeñas, mientras que las lluvias de alta intensidad son cortas, de gran volumen y compuestas de gotas grandes.

Al aumentar la intensidad de un aguacero, aumentan en tamaño y en cantidad las gotas de lluvia y por lo tanto aumenta la energía del mismo (Bennet, 1965; FAO, 1983; Suárez de Castro, 1979; Baver et al., 1973).

Lawa y Parson (1944), citados por Alegre (1979), reportaron un incremento en el tamaño medio de la gota con el incremento en la intensidad de lluvia, encontrando la siguiente relación:

$$D_{50} = 2,23 I^{0,182}$$

donde:

$D_{50}$ : tamaño medio de una gota (mm)

I : intensidad de lluvia (pulg/hr)

Low y Paulet (1967), con los mismos parámetros establecieron:

$$D_{50} = 1,84 I^{0,184}$$

donde:

$D_{50}$ : tamaño medio de las gotas (mm)

I : intensidad de la lluvia (mm/hr)

Lawa y Parson (1944) reportaron que el diámetro máximo de la gota de lluvia natural es de aproximadamente 7 mm. Para Low y Paulet (1967), la gota de lluvia alcanza un diámetro máximo entre 6 y 7 mm. Fournier (1975), señala que el valor máximo está alrededor de 9 mm, porque una gota de mayor tamaño estalla debido a la tensión superficial insuficiente. Hudson (1982), observó que el límite superior es de 5 mm de diámetro y que sobre este tamaño las gotas se rompen en otras más pequeñas, volviéndose más inestables.

#### d. Velocidad Terminal de la Lluvia

La velocidad de caída de la gota de lluvia depende de su masa y de la distancia que debe recorrer. A medida que aumenta el tamaño de las gotas, mayor será su velocidad terminal.

Wischmeier y Smith (1960), indican que la distancia que debe recorrer una gota de lluvia antes de caer y alcanzar su velocidad terminal, está en función de la distribución del tamaño de gota y presentan el siguiente cuadro:

**Cuadro N° 2: Relación entre el tamaño de gota y la velocidad terminal**

Tamaño de Gota (mm)	Velocidad Terminal (m/s)	Distancia para lograr el 95% de Velocidad Terminal (m)
0,25	1,0	—
0,50	2,0	—
1,00	4,0	2,0
2,00	6,5	5,0
3,00	8,1	7,2
4,00	8,8	7,8
5,00	9,1	7,6
6,00	9,3	7,2

La energía cinética de una tormenta depende de la velocidad de la gota de lluvia al momento del impacto en el suelo.

Una gota de lluvia que cae libremente se acelera hasta que la fuerza de fricción del aire se iguala a la fuerza de gravedad. Es a partir de ese momento que la velocidad será constante (Gutiérrez, 1990).

Meyer (1979), indica que la velocidad de caída de las gotas de lluvia varía desde cero para las lloviznas a más de 9 m/s para las de mayor tamaño. Reporta que el tamaño más frecuente de las gotas es de 2 mm y que caen con una velocidad que varía de 6 m/s a 7 m/s.

Según Kirkby (1984), la velocidad terminal de la gota de lluvia aumenta a medida que éstas aumentan en tamaño, hasta aproximadamente 4 mm. Para diámetros superiores la velocidad se hace constante y toma el valor de 9,2 m/s.

Wischmeier y Smith (1958), relacionan la energía cinética de una tormenta con su velocidad terminal por medio de la siguiente ecuación:

$$E_K = \frac{I V^2}{2}$$

donde:

$E_K$ : energía cinética (watts/m<sup>2</sup>)

$I$  : intensidad (mm/s)

$V$  : velocidad de la gota de lluvia antes del impacto (m/s)

Ellison (1948), desarrolló la relación entre la desagregación del suelo (efecto de salpicadura), la velocidad terminal, el diámetro de gota y la intensidad de lluvias, de la siguiente manera:

$$E = K V^{4,33} d^{1,07} I^{0,65}$$

donde:

**E:** cantidad relativa de suelo desagregado

**K:** constante del suelo

**V:** velocidad de una gota de lluvia (pies/s)

**d:** diámetro de la gota de lluvia (mm)

**I:** intensidad de lluvia (pulg/hr)

#### **e. Cantidad de Lluvia**

Se supone que debe existir una relación directa entre la cantidad de agua precipitada y la cantidad de suelo erosionado. Se espera que a mayor lluvia exista una mayor erosión, pero diversos estudios han demostrado una relación pobre.

Suárez de Castro (1979) y Hudson (1982), demostraron que las lluvias, aún cuando las cantidades totales eran similares, podían causar pérdidas de suelo muy diferentes.

La cantidad de lluvia necesaria para que se produzca escorrentía superficial varía de un lugar a otro.

Una gran cantidad de lluvia puede no causar erosión si la intensidad es baja y viceversa. Cuando ambas son altas, la erosión y la escorrentía serán considerables.

#### **f. Duración y Frecuencia de las Lluvias**

La duración de las lluvias es el complemento de la intensidad para poder determinar la precipitación total.

Al caer una lluvia de intensidad uniforme sobre un suelo, el agua se infiltra durante un lapso más o menos largo, según sean las condiciones de humedad del suelo y de la intensidad de la precipitación; después comienza

la escorrentía, la cual va aumentando en volumen. Mientras mayor es el tiempo que dura la precipitación, de intensidad uniforme, la escorrentía tiende a ser mayor (Suárez de Castro, 1979).

Una lluvia puede ser más erosiva que otra de las mismas características en intensidad y cantidad si se presenta después de una lluvia que humedeció el suelo, entrando aquí el efecto de la frecuencia (Low y Paulet, 1967).

La humedad del suelo tiene una estrecha relación con la frecuencia de las lluvias y con su capacidad para permitir la infiltración (Fournier, 1975).

#### **g. Velocidad del Viento**

La velocidad del viento que acompaña una tormenta influencia la energía cinética y por lo tanto la capacidad erosiva de la lluvia.

Las tormentas tropicales están generalmente acompañadas por una alta intensidad de vientos que incrementan su agresividad (Greenland y Lal, 1977).

Romero (1988), afirma que las lluvias erosivas están acompañadas por vientos significativos, concluyendo que la velocidad de impacto real de las gotas de lluvia está en función del tamaño de la gota y de la velocidad del viento.

Neal y Baver (1938), determinaron que la fuerza del viento aumentaba el impacto de las gotas de lluvia, que a su vez era la resultante del número y del tamaño de las gotas.

Lyles y colaboradores (1969), citados por Alegre (1979), reportaron que la lluvia acompañada por viento fué más efectiva en el rompimiento de

terrones que la lluvia sola. Más del 73% de disturbación del suelo ocurrió a la velocidad del viento de 13,4 m/s. Presentan el siguiente cuadro:

**Cuadro Nº 3: Efecto de la velocidad del viento en la disturbación del suelo**

Velocidad del Viento (m/s)	Disturbación del Suelo (Unidades Arbitrarias) Intensidad (cm/hr)		
	1,60	1,84	5,61
0,0	56	93	97
6,7	95	98	100
13,4	97	100	100

Hudson (1982), señala que debido a la acción del viento, las gotas de lluvia de 3 mm de diámetro cambian de dirección en 30°, incrementando en 17% la velocidad de caída y en 36% la energía cinética.

#### **h. Dirección de la Pendiente**

La energía de la lluvia está influenciada por las direcciones de la pendiente y de la tormenta a causa del ángulo que se forma entre ellas y que es el mismo con que golpea la partícula al suelo. El máximo impacto se produce cuando se forma el ángulo de 90° entre la dirección de la superficie del terreno y de la lluvia (Wischmeier y Smith, 1958; Greenland y Lal, 1977).

#### **2.4.2 Factor Suelo**

La erodabilidad del suelo (factor K en la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo) ha sido definida como una propiedad intrínseca que expresa la susceptibilidad o resistencia del suelo a la erosión, la cual depende de ciertas propiedades físicas del suelo y del manejo al que se le haya sometido (Suárez de Castro, 1979).

Las características que la afectan tienen que ver con los dos procesos de la erosión, la separación y el transporte (Páez y Rodríguez, 1984).

Ellison (1948), plantea la necesidad de estudiar separadamente estos procesos y propone el método de copas de salpicadura para medir la separabilidad del suelo o susceptibilidad a la separación de los agregados. Sostiene que el movimiento lateral de las partículas que salpican por el impacto de las gotas de lluvia puede llegar a ser hasta de 1,20 m.

Wischmeier, Johnson y Cross (1971), desarrollaron una ecuación de predicción de la erodabilidad del suelo, en base a cinco parámetros del suelo, de fácil determinación, la cual se expresa en forma de nomograma y es utilizada ampliamente en muchos países para estimar directamente el factor K.

Los factores relacionados con el suelo que influyen en el proceso de la erosión hídrica son:

#### **a. Textura**

La textura del suelo está determinada por la conformación granulométrica o composición mecánica del suelo e indica la proporción que existe entre las diferentes fracciones granulométricas como arena, limo y arcilla (Vásquez y Chang Navarro, 1988).

La textura es uno de los más importantes determinantes de la susceptibilidad o resistencia de un suelo a la erosión, según que sea fina, media o gruesa, modificando el grado de dispersión y transporte (Duorojeanni y Paulet, 1967; Suárez de Castro, 1979).

En los suelos de textura gruesa, la velocidad de infiltración se mantiene en valores bastante grandes; en consecuencia, el escurrimiento y la erosión son menores que en los suelos de textura fina. En los suelos

arcillosos y compactos se forma en la superficie una película de compacidad tal que las gotas de agua de la lluvia sólo pueden desprender pocas partículas; en este caso el escurrimiento es considerable pero a erosión es pequeña (FAO, 1967).

A continuación se presenta un cuadro donde se muestra la velocidad que requiere el agua para poder mover diferentes clases de partículas:

**Cuadro Nº 4: Velocidad requerida para mover las partículas**

Partícula	Veloc. del Agua (m/s)
Limo	0,08
Arena	0,31
Gravilla	0,61

La erodabilidad se incrementa con un mayor contenido de limo y disminuye con un mayor contenido de arena, arcilla y materia orgánica (Wischmeier, 1960).

#### **b. Estructura**

La estructura del suelo viene a constituir el modo particular de como se agrupan las diferentes partículas del suelo. Importancia práctica presenta la forma, dimensión y modo de situarse de estos agregados estructurales, toda vez que ello influya tanto en las relaciones suelo-agua-planta, así como en el régimen de aereación del suelo y almacenamiento de sustancias nutritivas. La estructura del suelo influencia también el grado de porosidad del mismo, la velocidad de infiltración del agua y su correspondiente movimiento dentro del mismo (Vásquez y Chang Navarro, 1988).

Es una de las propiedades físicas más importantes en la erosión del suelo, porque determina la proporción de agua que puede entrar al suelo, así como la resistencia de las partículas del suelo a la disturbación por el impacto de las gotas de lluvia y consecuentemente su transporte por el agua de escorrentía. La estructura de la superficie del suelo es generalmente la que recibe más atención en relación con la erosión del suelo, porque está más sujeto al deterioro bajo el impacto de las gotas de lluvia. Por otro lado, las prácticas de cultivo y manejo del suelo pueden fácilmente alterarla (Alegre, 1979).

El tipo de estructura determina la formación de cavidades que facilitan la aereación, el movimiento del agua, penetración de las raíces y la resistencia a la erosión, de acuerdo a la estabilidad de los agregados (La Torre, 1985).

La permeabilidad del suelo como la resistencia a la erosión se puede aumentar mejorando su estructura, especialmente cuando la proporción de agua es incrementada en un agregado estable (Zachar, 1982). Los aportes de materia orgánica, enclamiento y cultivo de leguminosas benefician la formación de agregados, los cuales constituyen una estructura adecuada (FAO, 1960).

### c. Humedad del Suelo

Cuanto mayor sea la humedad del suelo al momento de la lluvia, rápidamente se alcanzará la infiltración mínima y la máxima escorrentía (Low y Paulet, 1967).

Sánchez (1981), afirma que cuando el suelo se satura rápidamente las lluvias muy intensas pueden ocasionar considerable escorrentía aun en pendientes suaves.

Zachar (1982), citado por Mamani (1990), sostiene que el contenido de humedad instantáneo es un factor importante durante lluvias sucesivas o una lluvia fuerte. Establece que para una alta humedad del suelo, la resistencia del mismo a la erosión es baja. Esta propiedad está asociada con la infiltración y con la resistencia de los agregados del suelo.

La velocidad de infiltración en un suelo seco es muy grande durante breve tiempo. A medida que el suelo se humedece, la velocidad de infiltración disminuye rápidamente hasta que por último alcanza una velocidad de equilibrio (infiltración básica), la cual depende de la textura y de la estructura del suelo (FAO, 1983).

#### **d. Estabilidad Estructural**

La Torre (1985), afirma que a mayor estabilidad mayor es la resistencia de las partículas del suelo a la disgregación por impacto de las gotas de lluvia, aumentando la infiltración y disminuyendo la erosión y la escorrentía.

La estabilidad de los agregados es también importante desde el punto de vista de la liberación de partículas finas de arcilla y limo, las cuales pueden ser lixiviadas dentro de los espacios porosos más gruesos de la estructura existente, ocasionándose así un decrecimiento de la conductividad hidráulica del suelo (Alegre, 1979).

Yoder (1936), propone un método para evaluar la estabilidad de los agregados al humedecimiento, el cual ha sido tradicionalmente utilizado y en base al cual se han generado índices para evaluar la erodabilidad. Van Bavel (1950), propone el diámetro medio ponderado de estos agregados, Bryan (1968/1969), los porcentajes de agregados mayores de diámetros determinados. 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 (Rose, 1960; Pla, 1978). Igualmente se ha mostrado 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 (Mc Intyre, 1957; Pla, 1982), por lo que debe ser tomado en cuenta al momento de evaluar la susceptibilidad del suelo a la erosión (Páez y Pla, 1985).

Páez y Pla (1985), evaluaron varios índices que reflejan la susceptibilidad del suelo a la erosión, los cuales se basaron principalmente en la estabilidad de los agregados del suelo al impacto de la gota o al humedecimiento, utilizando muestras del suelo superficial, de una amplia variedad de suelos agrícolas de Venezuela con problemas de erosión.

Concluyeron que los suelos con predominio de arena muy fina y limo, presentan muy baja estabilidad al impacto de la gota, por la baja cohesión de las partículas dentro de las unidades estructurales. Ello se refleja en la rápida formación del suelo superficial, acompañado de un fuerte descenso de la conductividad hidráulica. En el suelo con alto contenido de arcilla, la reducción de la conductividad hidráulica se alcanzó casi al final de la prueba, demostrando una mayor estabilidad de los agregados. En los suelos más desarrollados, la distribución de tamaño de partículas desempeña un papel menos importante en la susceptibilidad del suelo a la erosión; en estos suelos las partículas primarias se encuentran formando parte de agregados relativamente estables.

#### **e. Contenido de Materia Orgánica**

El agua que el suelo retiene depende en parte de su contenido de materia orgánica, el cual mejora la estructura del suelo. Además, actúa como formador de agregados aumentando la porosidad y la velocidad de infiltración. En términos generales, la permeabilidad es un indicador de la

resistencia a la erosión superficial, ya que la infiltración, la escorrentía y la erosión son procesos muy relacionados entre sí (Baver et al, 1973).

### 2.4.3 Factor Topografía

El tamaño y la cantidad de material que el agua puede arrastrar o llevar en suspensión dependen de la velocidad con que ésta fluye, la cual a su vez es la resultante de la longitud, del grado de inclinación de la pendiente y de la uniformidad del terreno (Low y Paulet, 1967; Duorojeanni y Paulet, 1967; Suárez de Castro, 1979).

Wischmeier y Smith (1958), reportaron las siguientes expresiones matemáticas utilizadas para estimar el factor topografía (LS) de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelos, en función de la longitud de la pendiente (l) y su gradiente en por ciento (s), ecuación N°1, o su gradiente en ángulo ( $\alpha$ ), ecuación N°2, según la pendiente sea menor o mayor del 20 por ciento, respectivamente. El exponente m varía con el gradiente.

$$LS = (l/22,1)^m (0,065 + 0,045s + 0,0065s^2) \quad \dots(1)$$

$$LS = (l/22,1)^m (0,065 + 4,56\text{sen}\alpha + 65,41\text{sen}^2\alpha) \quad \dots(2)$$

Zingg, mencionado por Mamani (1990), por medio de parcelas en condiciones similares de campo y de precipitación pluvial, relacionó la pérdida de suelo con el gradiente de inclinación y con la longitud de la pendiente, demostrando que al duplicar el grado de pendiente aumenta la pérdida de suelo de 2,6 a 2,8 veces y duplicando la longitud horizontal de la pendiente aumentaba la pérdida de suelo por escurrimiento en 3,03 veces.

Los rangos de pendiente considerados para clasificar unidades por su capacidad de uso, varían según sus riesgos de erosión. Unidades de tierra con

altos riegos de erosión hídrica requieren rangos de pendiente más estrechos. En pendientes fuertes la mayoría de las unidades pasan de tierras arables a no arables (Páez y Rodríguez, 1984).

#### **a. Longitud de la Pendiente**

Wischmeier y Smith (1958), definieron la longitud de la pendiente, en la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo, como la distancia del punto de origen del flujo hasta el punto donde la pendiente decrece o se extiende y empieza la deposición o el punto donde la escorrentía entra en una bien definida canaleta que puede ser parte de un sistema de drenaje o una canaleta construída tal como una terraza. El factor de longitud de pendiente (L) es la relación de escorrentía y pérdida de suelo para un largo de pendiente que es de 72,6 pies, cuando todas las otras condiciones son las mismas.

La longitud de la pendiente origina efectos que varían considerablemente con el tipo de suelo. Se encontró que las pendientes más largas tenían menor escorrentía que las más cortas, aunque la erosión aumentaba con la longitud de la pendiente. Al saturarse el suelo, el agua de escurrimiento se acumula a todo lo largo de la pendiente, aumentando su volumen y su velocidad, con ellos sus daños. Con lluvias de baja intensidad la erosión disminuye con la longitud de la pendiente.

Wischmeier (1978), reportó como conclusión de sus investigaciones efectuadas en 21 localidades que el efecto de la longitud de la pendiente por unidad de área fue muy variable. En 18 localidades encontró que la escorrentía total durante la época de máximo crecimiento de los cultivos por unidad de área fué más grande en pendientes cortas. Para la época en que los cultivos ya han adquirido el máximo desarrollo, encontró en 11 localidades que la escorrentía total era mayor sobre pendientes más largas

mientras que en las otras 10 localidades ésta escorrentía era igual o más grande sobre pendientes cortas.

Para suelos en que la velocidad de escurrimiento no está afectada por la longitud de la pendiente del terreno, la relación entre la pérdida de suelo y ésta longitud es aproximadamente igual a la raíz cuadrada de la longitud de la pendiente (FAO, 1967).

Zingg (1940), reportó que el promedio de suelo perdido por unidad de área se incrementa en proporción de 0,6 con el largo de la pendiente. Musgrave (1947) encontró que el exponente  $m$   $(l/72,6)^m$  fue de 0,35 donde  $l$  es la longitud de la pendiente usada en el experimento y 72,6 la longitud estándar en pies de un campo determinado con el cual se encuentra el valor de  $K$  en la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo. Wischmeier (1972) ha demostrado que el valor del exponente  $m$  varía de 0,3 a 0,7, con un valor medio de 0,45 (Alegre, 1979).

Zingg (1940), establece las siguientes relaciones:

. Pérdida total de suelo:

$$E_1 = f(L^{1,6})$$

. Pérdida de suelo por unidad de área superficial:

$$E = f(L^{0,6})$$

FAO (1967), establece que generalmente, sobre las lomas de gran longitud, los perjuicios de la erosión pueden resultar más cuantiosos que en lugares de pendiente corta. Presenta el siguiente cuadro:

**Cuadro N° 5:****Pérdida del suelo para varias longitudes de pendiente**

Longitud de la Pendiente (m)	Pérdida de suelo / unidad de área
0 - 23	0,91
23 - 46	1,65
46 - 69	2,13
69 - 92	2,52

**b. Grado de Inclinación de la Pendiente**

La inclinación de la pendiente es el factor topográfico más importante porque produce mayores efectos. Cuando la inclinación de la pendiente aumenta al doble, la erosión aumenta en más del doble (FAO, 1983).

El ángulo de la pendiente es un factor importante porque determina la eficacia de la erosión por fragmentación. Cuando el ángulo de la pendiente aumenta, mayor será la cantidad de suelo que se esparce cuesta abajo (Kirkby, 1984).

A medida que aumenta la pendiente, el agua fluye más rápido y por lo tanto el tiempo de infiltración es menor, provocando así mayor escorrentía (FAO, 1983; Suárez de Castro, 1979).

Zachar (1982), citado por Mamani (1990), indica que cuando la pendiente es muy empinada, se incrementa el coeficiente de escurrimiento, la energía cinética, la capacidad de acarreamiento del flujo superficial y la erosión por salpicadura; la estabilidad del suelo y la pendiente decrece, por tanto, la erosión del suelo se incrementa con el crecimiento de la pendiente. Menciona que en un suelo de baja permeabilidad con cultivo de maíz, la erosión del suelo se incrementa de 158,8 tn/ha a 243,7 tn/ha cuando la inclinación del suelo es incrementada de 8% a 20%. En un suelo con alta

permeabilidad con cultivo de algodón, la pérdida de suelo es incrementado de 50,1 tn/ha a 135,8 tn/ha cuando la inclinación de la pendiente es incrementada de 8,7% a 16,5%.

Zachar (1982), menciona las siguientes expresiones matemáticas que relacionan la pérdida de suelo (E) con el ángulo de inclinación (S):

. Gussak (1937):

$$E = f(S^{0,4})$$

. Neal (1938):

$$E = f(S^{0,8})$$

. Zingg (1940):

$$E = f(S^{1,4})$$

. Musgrave (1947):

$$E = f(S^{1,35})$$

Wischmeier y Smith (1960), presentan la siguiente expresión, donde A es la pérdida de suelo en m<sup>3</sup>/ha y S es la inclinación de la pendiente en %:

$$A = 0,43 + 0,30 S + 0,043 S^2$$

### c. Forma de la Pendiente

La escorrentía y pérdida de suelo son significativamente influenciadas si es que la pendiente es convexa, cóncava, compleja o regular (Alegre, 1979).

Las pendientes pueden ser por lo general cóncavas o convexas. La forma convexa de la pendiente aumenta la velocidad del agua de escurrimiento, el horizonte superficial acaba desapareciendo de la parte más inclinada de la pendiente cuando ésta no tiene protección durante los

períodos de lluvia. Los declives cóncavos se aplanan en su parte baja y los sedimentos arrastrados por el agua de escurrimiento se depositan en esta zona a medida que la velocidad del agua disminuye, sin embargo, cuando llueve mucho, el agua fluye a gran velocidad y puede ocurrir que el agua se concentre en los declives cóncavos e inicie la formación de cárcavas (Mamani, 1990).

#### **2.4.4 Factor Cobertura Vegetal**

La cobertura vegetal con una densidad adecuada es la defensa natural de un suelo contra la erosión porque disminuye grandemente los impactos de las gotas de lluvia, interceptándolas y absorbiendo la energía antes que actúe en ella (FAO, 1967).

Las praderas perennes son la mejor cubierta vegetal posible para prevenir la erosión. Disipan la energía de las gotas de agua de lluvia, impidiendo casi completamente el impacto en el terreno y manteniendo en éste una infiltración mayor, por lo tanto el agua de escurrimiento se hace más lento (FAO, 1983).

Una buena cobertura vegetal elimina o reduce los efectos del clima, la topografía y el suelo en lo que respecta a la erosión. Un suelo bien protegido ha permitido una pérdida de suelo menor de una tonelada por hectárea por año, esto en suelos que van desde muy permeables hasta suelos de permeabilidad regular y en pendientes que varían de 4% a 30% (Low y Paulet, 1967).

Cuando una gota de lluvia golpea un suelo cubierto con vegetación densa, se rompe en minúsculas gotitas de agua que penetran fácilmente en los innumerables intersticios y canales del suelo. Cuando esta gota golpea un suelo desnudo, la fuerza del impacto desprende partículas que quedan en suspensión y a medida que el agua se infiltra, se depositan en los espacios

porosos del suelo, obstruyéndolos y dificultando el paso posterior del agua. El suelo se va saturando y el agua es obligada a fluir sobre la superficie del terreno (Paulet, 1968; Suárez de Castro, 1979).

Ayres (1960), citado por Suárez de Castro (1979), resume la forma como la cobertura vegetal defiende al suelo contra la erosión:

- . Disipa la energía cinética de las gotas de lluvia. Dispersión directa del impacto de las gotas de lluvia, interceptado por el follaje y evaporación de las gotas de agua, que en esa forma no llegan al terreno.
- . La evacuación del exceso del agua del suelo a través del proceso de transpiración de las plantas.
- . El efecto sujetador del sistema radicular sobre las partículas de suelo. La penetración de las raíces a través del perfil del suelo influye en la génesis de la estructura del suelo, mediante la formación de agregados estables.
- . La vegetación al morir y descomponerse, aumenta el contenido de materia orgánica y de humus en el suelo y con ellos la porosidad y capacidad de retención de agua de los terrenos, mejorando la estructura del suelo y aumentando la infiltración.
- . Donde existe una cobertura vegetal, es importante la actividad biológica (larvas, gusanos de tierra, etc.), porque éstos hacen galerías, descomponen materia orgánica y de esta manera van aumentando la porosidad de los suelos, mejorando sus condiciones de permeabilidad y aireación del suelo.
- . Aumento de la fricción superficial y con ella una reducción del volumen y velocidad de agua de escorrentía superficial, disminuyendo su poder erosivo.

De todos estos efectos, los más notables son los relacionados con el aumento en la infiltración y con la protección directa contra el impacto de las lluvias. Esta influencia de la vegetación varía según los cultivos, el suelo, el clima y el tipo de material vegetativo, particularmente las raíces, la altura de las plantas y los residuos vegetales (Gutiérrez, 1990).

La cobertura vegetal natural o los diferentes tipos de cultivos modifican el grado de la erosión. La máxima erosión posible se produce en terrenos en barbecho desnudo, siendo mínimo el efecto de la cubierta vegetal para la reducción de la erosión. La magnitud de la erosión en suelos en barbecho desnudo dependen del cultivo a que se les dedicó anteriormente, si se dejaron o no en ellos restos de los cultivos y de la magnitud de la detención superficial debido a la labranza primaria y secundaria (FAO, 1978).

Bertoni (1960) opina que cultivos de rápido crecimiento pueden ser denominados cultivos conservadores del suelo, comparados con aquellos que requieren un mayor tiempo y pueden ser por lo tanto denominados cultivos de agotamiento del suelo. Sin embargo esta característica debe ser complementada con otras, tales como el hábito de ramificación. En un estudio en el Estado de Sao Paulo, Brasil, relativo al efecto de diferentes cultivos sobre las pérdidas de suelo y agua, Bertoni (1960), encontró que el pasto protegió mejor al suelo, siendo el cultivo de algodón el que presentó las mayores pérdidas.

La erosión y la escorrentía aumentan rápidamente en suelos con menos del 70% de cubierta vegetal. En campos arables, la erosión disminuye a medida que los cultivos se vuelven más densos. En pendientes sin vegetación, la tierra desnuda y arable es la más susceptible a la erosión hídrica y se puede perder grandes cantidades de suelo en una sola tormenta o en una estación lluviosa (Kirkby, 1984).

Alegre (1979), concluye que el pasto *Centrocema* sp. brindó una mayor cobertura al suelo y redujo la erosión en condiciones de Selva Alta.

Galdo (1985), concluyó que las purmas y los pastos son coberturas muy eficaces en la protección del suelo contra la erosión hídrica.

En los bosques tropicales las pérdidas de suelo por erosión hídrica son muy bajas. Los bosques que ocupan terrenos de apreciable extensión constituyen una de las mejores protecciones posibles contra la erosión, al reducir al mínimo los daños. Con el transcurso del tiempo, los árboles que están ya en pleno y normal proceso vital dan lugar a la formación de un denso dosel de follaje, que intercepta la lluvia reduciendo su energía, a la presencia de un mantillo protector del suelo y a un extenso desarrollo de las raíces, con cuya combinación se hace prácticamente invulnerable el suelo (FAO, 1983).

#### **2.4.5 Factor Actividad Humana**

La erosión acelerada se debe a las prácticas del hombre que alteran la cubierta natural y las condiciones del suelo. Esta erosión se deriva de las actividades del hombre cuando éste prepara la tierra para el cultivo y la utiliza como emplazamiento para construir edificios, fábricas y vías de comunicación (FAO, 1967).

Felipe-Morales (1986), afirma que en algunos casos la ejecución de obras de ingeniería tales como carreteras, puentes, canales de riego, etc., sin la debida planificación y criterio técnico, contribuyen más a incrementar los problemas de sedimentación y erosión, que a solucionar problemas específicos.

En las zonas en que los cultivos se han extendido por vastas superficies, debido a la mayor población y a la disponibilidad de tractores, el

uso de éstos últimos ha permitido arar laderas empinadas sin prestar atención alguna a la protección de los recursos (FAO, 1983).

Un bosque natural se altera, bien sea por el excesivo pastoreo o por las operaciones propias de la explotación forestal. La protección natural contra la erosión puede destruirse. La tala considerable de árboles reducen la transpiración, dejando al suelo completamente húmedo e impermeable; todo el agua que era retenida por la vegetación va a aumentar el volumen de agua de escorrentía, que se ve favorecida además, por la tierra desnuda (Duorojeanni y Paulet, 1967; FAO, 1983).

Chilón (1988), indica que la causa fundamental del aumento anual de la erosión del suelo en las partes altas de la costa y de la sierra es el sobrepastoreo, que da lugar a la desaparición de la cubierta vegetal, cuya presencia es indispensable en la lucha contra la erosión, debido a su efecto protector sobre el golpe de las gotas de lluvia.

Según Ellenberg (1981), reseñado por Galdo (1985), el hombre aumenta la intensidad de la erosión directamente debido a las siguientes influencias:

- . Raleo o destrucción de la capa vegetal por cortes de leña, desmonte, quema, pastoreo y sustancias químicas.
- . Daño de la superficie del suelo por animales que pastorean y poseen pezuñas afiladas, por arado u otro tipo de labrado del suelo o por desmonte de las plantas leñosas con sus raíces.
- . Compactación del suelo por la pisada de los animales o por la disminución de la actividad biológica.

- . Aumento del **contenido** de agua del suelo por causa de la eliminación de los bosques que **normalemnte** necesitan más agua que los pastos o campos de cultivo.

Para incorporar tierras de cultivo, es necesario técnicas de manejo de suelo y de labranza. Según Lal (1976), las prácticas de manejo de suelo para la conservación se basan en dos aspectos fundamentales: mantener una tasa de infiltración elevada y conducir el agua de escorrentía de una manera segura que minimicen la erosión.

El fuego no es siempre dañino para el suelo y su efecto depende de muchos factores individuales. La quema oportuna y controlada no afecta el crecimiento de árboles y cultivos, no produce daño al suelo, no contamina el aire ni afecta a la fauna tanto como se cree popularmente.

La pendiente es un factor principal en el efecto del fuego en el suelo. La posibilidad de daño físico que la quema puede producir al suelo aumenta con la pendiente de éste (Smith, 1962). La quema no debe practicarse en suelos de mucha pendiente porque causa erosión. En pendientes moderadas el desplazamiento del suelo luego del incendio o quema es insignificante (Cooper, 1971). En suelos planos, la quema presenta pocos peligros de erosión (Mobley et al., 1973)

La calidad del suelo también determina la influencia del fuego en la erosión. Los suelos arcillosos, especialmente los suelos compactados por el ganado, son más susceptibles a la erosión después de un incendio debido a su menor capacidad de absorción del agua durante las lluvias. En general, la quema de desperdicios tiende a dañar los suelos pesados en pendientes fuertes. (Mobley et al., 1973), pero en suelos arenosos o con una gruesa capa de materia orgánica no se produce daño alguno e inclusive pueden mejorarse (Smith, 1962).

El hombre puede actuar sobre los llamados factores pasivos como el suelo, la cobertura vegetal y la topografía, controlando y minimizando la energía desarrollada por las gotas de lluvia y reduciendo el movimiento del agua para disminuir la erosión. Para este efecto posee una serie de alternativas entre las cuales debe escoger y aplicar la que sea más eficaz.

## 2.5 ECUACION UNIVERSAL DE PERDIDA DE SUELO

En Estado Unidos, Wischmeier y Smith (1960), efectuaron estudios por más de veinte años en parcelas de escorrentía. Procesaron los datos y evaluaron los diversos factores que afectaban la pérdida de suelo, obteniendo así la denominada Ecuación Universal de Pérdida de Suelo.

La ecuación para determinar la pérdida de suelo es un modelo empírico designado para predecir a largo tiempo el promedio de la pérdida de suelo en campos con áreas específicas, bajo cultivos específicos y sistemas de manejo, pero no predice la pérdida de suelo para años particulares, sino predice el promedio anual de pérdida de suelo. Además, la ecuación no predice cuanto suelo termina en un lago o en una corriente, predice cuanto suelo erosiona en un campo determinado.

Esta ecuación es aplicable fundamentalmente para las regiones templadas y es usada con mucha frecuencia en la planificación del uso del agua y del suelo. (Felipe Morales, 1977). Se considera como criterio de decisión el que la erosión que se produzca sea mínima e inferior a un límite de tolerancia establecido.

Esta ecuación está representada por:

$$A = R K L S C P$$

donde:

**A** : promedio de pérdida de suelo calculada durante el período seleccionado para R (tn/ha)

**R** : factor de erosividad de las lluvias

**K** : factor de erodabilidad del suelo

**LS** : factor de la longitud e inclinación de la pendiente

**C** : factor de cobertura y manejo de los suelos

**P** : factor de prácticas de conservación del suelo

### 2.5.1 Capacidad erosiva de la lluvia (R)

Refleja la intensidad y frecuencia de las lluvias. Es un promedio anual y representa la suma de ciertas características de las lluvias individuales que tiene relación directa con la erosión: la energía (E) y la intensidad máxima en treinta minutos de cada lluvia ( $I_{30}$ ).

El índice  $EI_{30}$  se calcula de acuerdo a la siguiente expresión:

$$EI_{30} = Ec * I_{30}$$

donde:

$EI_{30}$  : índice de erosividad ( $kg/m^2 * mm/hr$ )

$Ec$  : energía cinética total de la lluvia ( $kg/m^2$ )

$I_{30}$  : máxima intensidad en 30 minutos ( $mm/hr$ )

La suma de los valores de EI para todas las lluvias en el año es el factor R.

### 2.5.2 Erodabilidad de los Suelos (K)

Son las toneladas de pérdida de suelo por unidad de área y por unidad de índice de erosión, para una pendiente de dimensiones específicas (9% y 22,13 m de largo). Algunos suelos se erosionan más fácilmente que

otros. Los suelos más erosionables tienen un valor mayor de K. Este factor expresa la pérdida que ocurre en un suelo en barbecho, sin la influencia de cultivo de cobertura.

### **2.5.3 Longitud e Inclinación de la Pendiente (LS)**

Este factor es definido como la relación de pérdida de suelo entre un campo de longitud y pendiente determinada cualquiera con el campo empleado para calcular el factor K, de dimensiones estándar (9% y 22,13 m de largo).

### **2.5.4 Cobertura y Manejo de los Suelos (C)**

Este factor combina el tipo de cultivos, rotación de los mismos y las diferentes prácticas de manejo, para determinar la pérdida de suelo, dependiendo también del crecimiento y desarrollo del cultivo.

Para poder determinar los valores de éste factor, es necesario conocer la probable distribución de las lluvias erosivas durante los doce meses del año y el grado de protección que da la cobertura y prácticas de manejo durante el tiempo en que ocurren las lluvias erosivas (Paulet, 1968).

### **2.5.5 Prácticas de Conservación (P)**

Este factor es la relación de pérdida de suelo en un campo con prácticas de manejo específicas o técnicas designadas para reducir la longitud de la pendiente, como cultivos en contorno, cultivos en fajas, terrazas, etc., con respecto a la pérdida de suelo cuando el cultivo es en el sentido de la inclinación de la pendiente.

## **2.6 MEDIDAS PARA CONTROLAR LA EROSION HIDRICA**

La erosión hídrica no se puede controlar totalmente pero sí se puede atenuar las pérdidas del suelo.

Smith, mencionado por Mamani (1990), evaluó los efectos de las prácticas de conservación mecánica para cuatro combinaciones de rotación de cultivos y tratamientos del terreno para un suelo y determinó que las pérdidas de suelo utilizando siembra a contorno, siembra en rotación por franjas y debida a las terrazas son de 57%, 25% y 3%, respectivamente, con relación a la de trabajar una colina en sentido de la pendiente.

Se ha establecido dividir el control de la erosión hídrica en tres grandes grupos:

### **2.6.1 Medidas Agronómico-Culturales**

Estas prácticas tienen como objetivo principal disminuir la velocidad del agua de escorrentía, interceptar y retener el suelo que aquella arrastra. Se interviene directamente sobre los factores suelo y cobertura vegetal, a través del manejo del suelo y de los cultivos.

Lombardi y colaboradores (1966), citados por Alegre (1979), en un cultivo de café creciendo sobre un suelo Podzólico en la Estación Experimental de Pindorama, Brasil, determinaron que las pérdidas de suelo fueron controladas en un 77% y las de escorrentía en 55%, cuando se usaron prácticas de conservación del suelo (surcos en contorno, mulch, abono verde) en comparación con las prácticas que disturban el suelo (cultivo mecánico, grada de disco, herbicidas, etc.)

## **a. Prácticas Basadas en el Manejo de Suelos**

### **. Utilización de los suelos de acuerdo a su capacidad de uso**

Es la aptitud natural que presenta el suelo para producir bajo tratamientos continuos y usos específicos. Representa una de las causas fundamentales por la que se ha acelerado la erosión en zonas de ladera en la sierra.

### **. Adecuadas prácticas de labranza**

Un cultivo agotante como el maíz produjo una menor escorrentía y pérdida de suelo que el garbanzo, considerado como cultivo conservador, cuando el primero fué conducido con técnicas sin labranza y el segundo con métodos convencionales de aradura y grada (Lal, 1976).

Estas prácticas se refieren solamente al manejo del suelo. Toma en consideración la preparación del terreno y la época en que se realizan estas labores.

En zonas con peligros de erosión no se debe hacer el desterronado. Mientras se tengan terrones que puedan proteger en algo el suelo debemos conservarlos.

El subsolado es necesario en aquellos suelos donde existe dentro del perfil la presencia de capas duras que anulan la percolación, pero estas capas deben romperse como máximo hasta una profundidad de un metro.

Los surcos tabicados ayudan a incrementar la infiltración del suelo pero no son aplicables en zonas de precipitación alta porque se produce desbordes con peores consecuencias. Los tabiques se construyen en sentido transversal a la máxima pendiente del suelo cada 3 m a 5 m, de

acuerdo a la precipitación. Cuanto más distanciados se encuentren, se acumula mayor precipitación, favoreciendo la infiltración.

#### **. Uso de Enmiendas Orgánicas**

Se refiere a la aplicación o incorporación de materia orgánica en el suelo, con lo que se logra mejorar la estructura y agregar nutrientes al suelo. Como materia orgánica se puede utilizar estiércol, abonos verdes, rastrojos, humus, compost (residuos de cosecha).

Lombardi y colaboradores (1968), mencionados por Alegre (1979), demostraron en el Estado de Sao Paulo, Brasil, que el manejo del suelo consistente en la aplicación de estiércol de corral en maíz, redujo la pérdida de suelo y agua al aumentar la producción en 84% y 67% en suelos Podzólicos y Latosol, respectivamente. La práctica de utilización de abonos verdes puede reducir las pérdidas de suelo en un 61% y 29% para estos mismos suelos.

#### **. Empleo de Mulching o Cobertura Muerta**

El mulching es una capa protectora de material vegetal seco que se aplica sobre el terreno en barbecho para protegerlo del impacto de las gotas de lluvia, que provocan el desprendimiento de las partículas del suelo, reduciendo la velocidad de la escorrentía superficial.

Lattanzi et al (1974), citado por Mamani (1990), mostró que tanto la escorrentía como la erosión decrecen significativamente con la aplicación de paja de trigo como cobertura del suelo. El escurrimiento después de aplicar 64 mm de lluvia a un suelo limoso cubierto con éste mulch a razón de 8 mg/ha (95% de cobertura) decrece en un 10%. Para la aplicación de 2, 0,5 y 0 mg/ha (61, 25 y 0% de cobertura respectivamente), la pérdida de suelo decrece en forma exponencial

inversa, por ejemplo para la cobertura del 95% la pérdida de suelo es cero.

Alegre (1979), determinó que la aplicación de los rastrojos de los cultivos como mulch y una labranza mínima en una rotación de cultivos redujo la erosión a una tercera parte con relación a la obtenida por la misma rotación pero sin la aplicación de mulch.

La Torre (1985) mostró que la aplicación de rastrojo de los cultivos como mulch es una práctica muy favorable para la conservación del suelo. La erosión disminuyó en 9 veces durante una campaña y en 6 veces durante la siguiente campaña, respecto a la misma rotación de cultivos sin el empleo de ésta medida cultural.

## **b. Prácticas Basadas en Curvas de Nivel**

### **. Cultivos en Contorno**

Las prácticas de conservación del suelo tal como surcos en contorno en maíz redujo la erosión del suelo en un 23% y en un 7% la escorrentía, para un suelo arenoso en el Estado de Sao Paulo, Brasil, comparado con la de surcos en sentido de la máxima pendiente (Bertoni, 1960).

Los cultivos en contorno consideran la instalación de éstos siguiendo las curvas de nivel. En zonas con precipitación baja la pendiente debe ser igual a cero y en las zonas de precipitación alta, esta pendiente debe estar entre  $1^{\circ}/\circ\circ$  a  $3^{\circ}/\circ\circ$  para favorecer la escorrentía y evitar el problema de las cárcavas, colocando al final un canal de evacuación.

## . Cultivos en Fajas

Estas prácticas se adaptan mayormente para los cultivos densos que pueden ser combinados con cultivos en hileras. La faja con cultivos densos nos ayuda a proteger los cultivos en surcos en contorno o los cultivos en hilera.

Estos cultivos en fajas deben seguir el sentido de las curvas de nivel y estar combinadas con una práctica que nos permita evacuar la escorrentía. Pueden ser horizontales, transversales o de contención.

El ancho de la faja estará en función de la pendiente, a mayor pendiente menor ancho de faja.

**Cuadro Nº 6: Relación del ancho de faja con la pendiente del terreno**

Ancho de Faja (cm)	Pendiente (%)
30 - 33	2 - 5
24	6 - 9
21	10 - 14
15	15 - 20

## . Barreras Vivas

Las barreras vivas están constituídas por hileras de plantas perennes dispuestas a determinado espaciamiento y siguiendo el sentido de las curvas de nivel. En la zona entre las hileras se coloca el cultivo.

La función de estas hileras es el de interceptar la escorrentía y el transporte de sedimentos de la zona alta. Para un mayor control de la erosión debe ir combinado con zanjas de infiltración.

El **espaciamiento** entre hileras de plantas está en función de la pendiente de la ladera.

**Cuadro nº 7: relación del distanciamiento de las barreras vivas con la pendiente del terreno**

Pendiente (%)	Distanciamiento recomendable (m)	
	Cult. Densos	Cult. Hilera
5	25,0	20,0
10	20,0	15,0
15	18,0	10,0
20	15,0	9,0
30	15,0	6,5
40	12,0	6,0
50	9,0	—
70	6,0	—

**. Cordones de Piedra**

Son hileras de piedras, dispuestas en sentido transversal a la pendiente, que actúan como barreras, deteniendo la escorrentía superficial y facilitando el depósito de sedimentos arrastrados por el agua.

**c. Prácticas Basadas en el Manejo de Cultivos**

**. Rotación de Cultivos**

Galdo (1985), afirma que la rotación de cultivos es muy importante porque es la sucesión recurrente y más o menos regular de diferentes cultivos en el mismo terreno. Esto contribuye de modo eficaz a controlar la erosión y mantener la productividad de los suelos.

La rotación de cultivos está en función de los cultivos densos o pastizales y de los cultivos en hilera o escarda.

### **. Cultivos Asociados**

Es la sucesión espacial de dos o más cultivos en el mismo período de tiempo, siendo necesario fertilizar adecuadamente el suelo para evitar su agotamiento.

### **. Protección del Suelo por Vegetación**

Los cultivos juegan un papel importante en la reducción de la erosión hídrica porque reducen la velocidad de escurrimiento, amortiguan el impacto de las gotas de lluvia con el suelo y sus raíces contribuyen a mantener fijo el suelo y mejorar la estructura del mismo (Mamani, 1990).

Cualquiera que sea la clase de cultivo, la protección máxima se obtiene únicamente cuando las plantas son vigorosas y crecen con rapidez (FAO, 1967).

### **2.6.2 Prácticas Forestales-Agrostológicas**

Estas prácticas están basadas en la instalación o plantación de especies forestales y de pasturas, con el objeto de proteger el suelo contra el impacto de la lluvia y favorecer la infiltración del agua.

Dentro de éstas prácticas tenemos:

- . Forestación de laderas
- . Forestación de riberas
- . Cercos de protección
- . Cortinas rompevientos

Entre las especies forestales que se pueden usar:

- . Especies nativas.- tara, tuna, sauce, molle, colle, q'eñua, capulí, aliso, algarrobo, nogal.

- . Especies introducidas o exóticas.- Eucalipto , Pinos, Casuarina, Cupressus Macrocarpa, Fraxinus spp.

### **2.6.3 Prácticas Mecánico-Estructurales**

Estas prácticas están basadas en el movimiento de tierras, requiriendo la aplicación de los criterios de ingeniería en la construcción de obras que sirven para controlar la escorrentía superficial, disipando la energía y disminuyendo la velocidad del agua de escorrentía. Cumplen su función en la medida que sean ubicadas y diseñadas cuidadosamente. Son de un costo elevado y requieren mantenimiento.

Estas prácticas se pueden clasificar en:

#### **a. Conducción y evacuación de agua**

- . Canales vegetados.- canales de desviación, canales de desagüe.
- . Zanjas de infiltración
- . Drenes
- . Obras de arte.- alcantarillas, canoas

#### **b. Tratamiento de laderas.- prácticas que modifican la pendiente del terreno.**

- . Terrazas o andenes de canal.
- . Terrazas o andenes de camellón
- . Terrazas o andenes de banco.

#### **c. Consolidación de Márgenes**

- . Diques de encauzamiento.- son defensas ribereñas.
  - . diques de tierra protegidos con roca
  - . diques de concreto

- . Diques **transversales**.-
  - . espigones
  - . traviesos

**d. Retención de Sedimentos**

- . Diques de retención.- sirven para el control de cárcavas. Con el tiempo permiten la formación de andenes.
- . Pozas de sedimentación
- . Desarenadores

**e. Regulación y Almacenamiento de Agua**

- . Reservorios
- . Represamiento de lagunas

**f. Disipación de Energía**

- . Caídas
- . Rápidos

**2.7 PARCELAS DE ESCORRENTIA**

Las parcelas de escorrentía se instalan para determinar la erosión y escorrentía del suelo en pequeñas áreas, evaluando la influencia que sobre ellas tiene la inclinación y largo de la pendiente, tipo de suelo, tipo de cobertura vegetal, prácticas de conservación, etc., pudiéndose desarrollar sistemas de control.

Las parcelas pequeñas (40 m<sup>2</sup>) dan información muy útil, sin embargo, para evaluar ciertas prácticas culturales, como el efecto de los métodos de labranza sobre la erosión y escorrentía, son necesarias parcelas más grandes, las cuales pueden ser labradas con equipos de campo.

Las parcelas son rectangulares, orientadas con su longitud en el sentido de la máxima pendiente. Los bordes de éstas se pueden construir con láminas de metal o planchas de madera, incrustadas de 0,15 m a 0,20 m bajo tierra y sobresaliendo 0,10 m a 0,15 m sobre la superficie del terreno. Si las parcelas son grandes (0,5 ha) se bordean con bermas de tierra o de concreto.

En el extremo más bajo de la parcela se instala un colector y un equipo para concentrar el agua de escorrentía y el suelo erodado, pudiendo construirse con diferentes materiales.

En el Perú Felipe Morales (1977), Alegre (1979), La Torre (1985), Galdo (1985), Chilón (1988), entre otros, instalaron parcelas de escorrentía de 4 m de ancho y 10 m de largo para evaluar la erosión y escorrentía con lluvia natural.

El área seleccionada para la construcción de la parcela debe ser lo más representativo posible de las condiciones de la zona, en cuanto a la altura, pendiente, suelo y precipitación (Rebaza, 1977).

Para los datos de precipitación es necesario instalar un pluviómetro y un pluviógrafo, además un laboratorio sencillo para determinar el peso seco de la pérdida de suelo, más un albergue para los observadores y depósitos donde se acumulará el suelo sacado del colector.

Los investigadores, en cualquier área del conocimiento, requieren la generación de datos en forma rápida y eficiente para distintas condiciones experimentales, más aún si los recursos disponibles son limitados.

El simulador de lluvia es un instrumento que se usa para reemplazar a la lluvia natural en investigaciones de conservación de suelo y agua, produciendo una lluvia artificial con diferentes intensidades y aplicada por

Las parcelas son rectangulares, orientadas con su longitud en el sentido de la máxima pendiente. Los bordes de éstas se pueden construir con láminas de metal o planchas de madera, incrustadas de 0,15 m a 0,20 m bajo tierra y sobresaliendo 0,10 m a 0,15 m sobre la superficie del terreno. Si las parcelas son grandes (0,5 ha) se bordean con bermas de tierra o de concreto.

En el extremo más bajo de la parcela se instala un colector y un equipo para concentrar el agua de escorrentía y el suelo erodado, pudiendo construirse con diferentes materiales.

En el Perú Felipe Morales (1977), Alegre (1979), La Torre (1985), Galdo (1985), Chilón (1988), entre otros, instalaron parcelas de escorrentía de 4 m de ancho y 10 m de largo para evaluar la erosión y escorrentía con lluvia natural.

El área seleccionada para la construcción de la parcela debe ser lo más representativo posible de las condiciones de la zona, en cuanto a la altura, pendiente, suelo y precipitación (Rebaza, 1977).

Para los datos de precipitación es necesario instalar un pluviómetro y un pluviógrafo, además un laboratorio sencillo para determinar el peso seco de la pérdida de suelo, más un albergue para los observadores y depósitos donde se acumulará el suelo sacado del colector.

Los investigadores, en cualquier área del conocimiento, requieren la generación de datos en forma rápida y eficiente para distintas condiciones experimentales, más aún si los recursos disponibles son limitados.

El simulador de lluvia es un instrumento que se usa para reemplazar a la lluvia natural en investigaciones de conservación de suelo y agua, produciendo una lluvia artificial con diferentes intensidades y aplicada por

medio de boquillas aspersoras, superficies rotatorias y superficies estacionarias con perforaciones.

Los simuladores instalados en el campo operan sobre el mismo terreno, cubriendo una gran área y obteniendo la información requerida de las propias características que se quieren evaluar. Los instalados en el laboratorio funcionan en un recinto cerrado sobre muestras de suelo, pudiendo controlar variables como la temperatura, velocidad del viento y humedad relativa.

El uso del simulador debe enfocarse hacia la obtención de datos relativos para la comparación de diversos suelos y tratamientos de uso y manejo. La extrapolación de los resultados debe ser siempre muy cuidadosa pero necesaria, mientras no se cuente con los datos bajo condiciones naturales.

## **2.8 PERDIDA DE NUTRIENTES EN EL AGUA DE ESCORRENTIA Y EN LOS SEDIMENTOS POR EFECTO DE LA EROSION**

La falta de respuesta o relativamente poca respuesta a la aplicación de fertilizantes en suelos tropicales puede ser atribuido en parte a la pérdida por percolación y en parte a la pérdida en el agua de escorrentía y sedimentos erodados (Alegre, 1979).

La pérdida de nutrientes en sedimentos erodados ha sido reportada en numerosos países. Casanova y colaboradores (1985) resumen esos estudios:

En los Estados Unidos, Massey y colaboradores (1958) estudiaron muestras de escorrentía de parcelas experimentales, en cuatro localidades de Wisconsin, encontraron en los valores promedios de erosividad de su estudio, que el material erodado contenía 2,1 veces más materia orgánica, 2,7 veces

más nitrógeno (N), 3,4 veces más fósforo aprovechable (P) y 19,3 veces más potasio intercambiable (K) que el suelo de donde provenían esos sedimentos. Barrows y Kilmer (1963) revisaron una gran cantidad de publicaciones relacionadas con la pérdida en aguas de erosión de materia orgánica y nutrientes, y concluyeron que ocurrían pérdidas significativas de materia orgánica, N y P. Una amplia cantidad de K era erodada pero sólo un pequeño porcentaje de ese K estaba en la forma intercambiable o aprovechable por las plantas.

Munn y colaboradores (1973) en un esfuerzo por obtener información cuantitativa sobre P y movimiento de suelo bajo condiciones específicas, trataron 3 suelos con P en microparcels desnudas y con cultivos y sujetas a lluvia simulada. La separación de los sedimentos demostró la predominancia de las fracciones de P y su aumento con la dosis y la aplicación de P estar en estrecha relación con el hierro (Fe) extraíble, contenido de aluminio (Al), pH y porcentaje de saturación de bases de los suelos originales. White y Williamson (1973) encontraron que la pérdida de nutrientes en suelos erodados provenientes de tierra cultivada podrían ser similares a las pérdidas promedios que ocurrirían naturalmente si el área estuviese bajo sábana que haya sido sometida periódicamente al fuego.

Romkens y colaboradores (1973) estudiaron el efecto de los métodos de labranza en la composición de N y P del agua de escorrentía y los sedimentos erodados en parcelas sembradas con maíz y con la labranza convencional, en la cual los fertilizantes son incorporados al suelo, hubo las más altas pérdidas de suelos y aguas pero pequeñas pérdidas de N y P. Sin embargo, un alto porcentaje del total de nutrientes erodados en la escorrentía fueron componentes del sedimento de todos los tratamientos. Monke y colaboradores (1977) describieron la escorrentía, la erosión y el movimiento de nutrientes en suelos sometidos a labranza, encontrando que

aunque las **concentraciones** de N y P en los suelos con excelente labranza eran altos, las **pérdidas** de estos nutrientes en los sedimentos fueron bajas debido al **aumento** de la infiltración.

En el Occidente de Nigeria, Lal (1976a, 1976b) reportó pérdidas de nutrientes en sedimentos erodados bajo diferentes pendientes y tratamientos de suelos y cultivos. Se encontró que la pérdida de nutrientes en el material de suelo erodado de los tratamientos con cobertura vegetal y sin labranza fueron insignificantes. De los tratamientos sometidos a labranza convencional las mayores pérdidas fueron de materia orgánica y N total. Las relaciones de enriquecimiento fueron 2,4 veces para carbono orgánico, 1,6 veces para N y 5,8 veces para P aprovechable.

En Bélgica, Honotiaux (1980) determinó la erosión por escorrentía y pérdida de nutrientes en suelos formados a partir de un material parecido al limo (loess). Sus datos demostraron la pérdida de casi una tonelada de materia orgánica y la relación C/N fue 8,4 lo que permitió concluir que la materia orgánica erosionada era bien humificada y de excelente calidad.

En Venezuela, Gásperi (1982) concluyó que una alta erosión removió 700 tn/ha con 17500, 13105 y 55 kg/ha de materia orgánica, N, P y K, respectivamente. Cuando la erosión fue severa la cantidad de suelo erodado fue de 2100 tn/ha, y las pérdidas de materia orgánica y nutrientes aumentó a 52500, 39, 365 y 164 kg/ha. Casanova y colaboradores (1985) compararon la pérdida de materia orgánica y nutrientes entre los tratamientos de manejo en Chaguaramas, encontrando la siguiente tendencia: suelo desnudo > sorgo > mínima labranza > cultivos en franja. En Maracay las pérdidas mayores fueron: suelo desnudo sin piedras > suelo desnudo con piedras > cultivos asociados > barreras simples > barreras dobles > cultivos en franjas > rotación maíz-forraje > bosque.

## 2.9 EL CULTIVO DE CAMOTE

El camote o batata (*Ipomoea batatas* L.), planta de origen tropical, es hoy un gran recurso alimenticio en los trópicos y zonas templadas del mundo, pudiendo cultivarse durante todo el año. Sin embargo, son pocos los agricultores que lo siembran en estas zonas del Perú.

El camote es un sustituto ideal de la papa en las regiones tropicales, siendo superior a ella en el contenido de grasas, carbohidratos, fibra, azúcar, almidón y algunas vitaminas. Se utiliza también para la alimentación del ganado en combinación con otros alimentos, pues tiene de 80% a 85% de carbohidratos y deshidratado tiene de 4% a 5% de proteínas. Las guías y hojas de la planta también pueden emplearse como forraje.

Esta planta es un cultivo muy rústico, crece y produce en cualquier tipo de suelo si las condiciones de clima son apropiadas. En los suelos arenosos se obtienen cosechas de mejor presentación y calidad, mientras que en los arcillosos se requiere la formación de bordos altos para una buena tuberización.

La batata es una planta muy tolerante a las variaciones en la acidez del suelo, encontrándose los niveles óptimos entre pH 5,6 y pH 6,5. Es un cultivo poco exigente en cuanto a fertilidad del suelo, produciendo bien en terrenos considerados pobres, siempre que se disponga de la humedad necesaria.

En cuanto a clima, es muy sensible a las temperaturas por debajo de 0°C, requiriendo un mínimo de 5 meses libres de heladas para llegar a una buena producción, necesitando que la temperatura media se mantenga por encima de 22°C, durante el período de crecimiento. Debido a su porte rastroso se adapta bien a las regiones con fuertes vientos.

El sistema tradicional de siembra es el de bordos o camellones y raramente en terreno plano. No se ha encontrado diferencias significativas en rendimientos entre la siembra en montículos separados y sobre camellones. Los camellones se recomiendan para el control de la erosión en suelos con pendientes, especialmente durante la primera parte del crecimiento. La distancia entre surcos oscila entre 0,60 m y 1,00 m y entre esquejes 0,15 m a 0,40 m.

Cuando el cultivo se realiza en suelos de secano o temporal, o en donde el agua de riego es escasa y cara, se recomienda hacer la plantación entrada la estación de lluvias para lograr un buen establecimiento de las plantas.

En climas tropicales se debe evitar las cosechas muy tardías que producen la deformación de las raíces por causas fisiológicas.

El clon de camote Jewel (EEY-4), presenta las siguientes características principales:

- . Gran estabilidad genética y adaptabilidad al trópico húmedo.
- . Alcanza su 100% de cobertura en un corto período de tiempo (45 días), por ser un clon precoz.
- . Alta uniformidad en el número, forma y cantidad de las raíces reservantes.

### **III MATERIALES Y METODOS**

#### **3.1 MATERIALES**

##### **3.1.1 Zona de Estudio**

###### **a. Ubicación**

Este estudio se realizó en terrenos de la Hacienda El Cañaverol, en el lugar denominado San Miguel, situado aproximadamente a 6 km de la localidad de San Ramón, Provincia de Chanchamayo, Departamento de Junín, Región Cárceles.

Geográficamente está situada a 10°30' latitud sur, 75°21' longitud oeste y a una altitud aproximada de 900 m.s.n.m. (Fig. N°1)

###### **b. Vías de Comunicación**

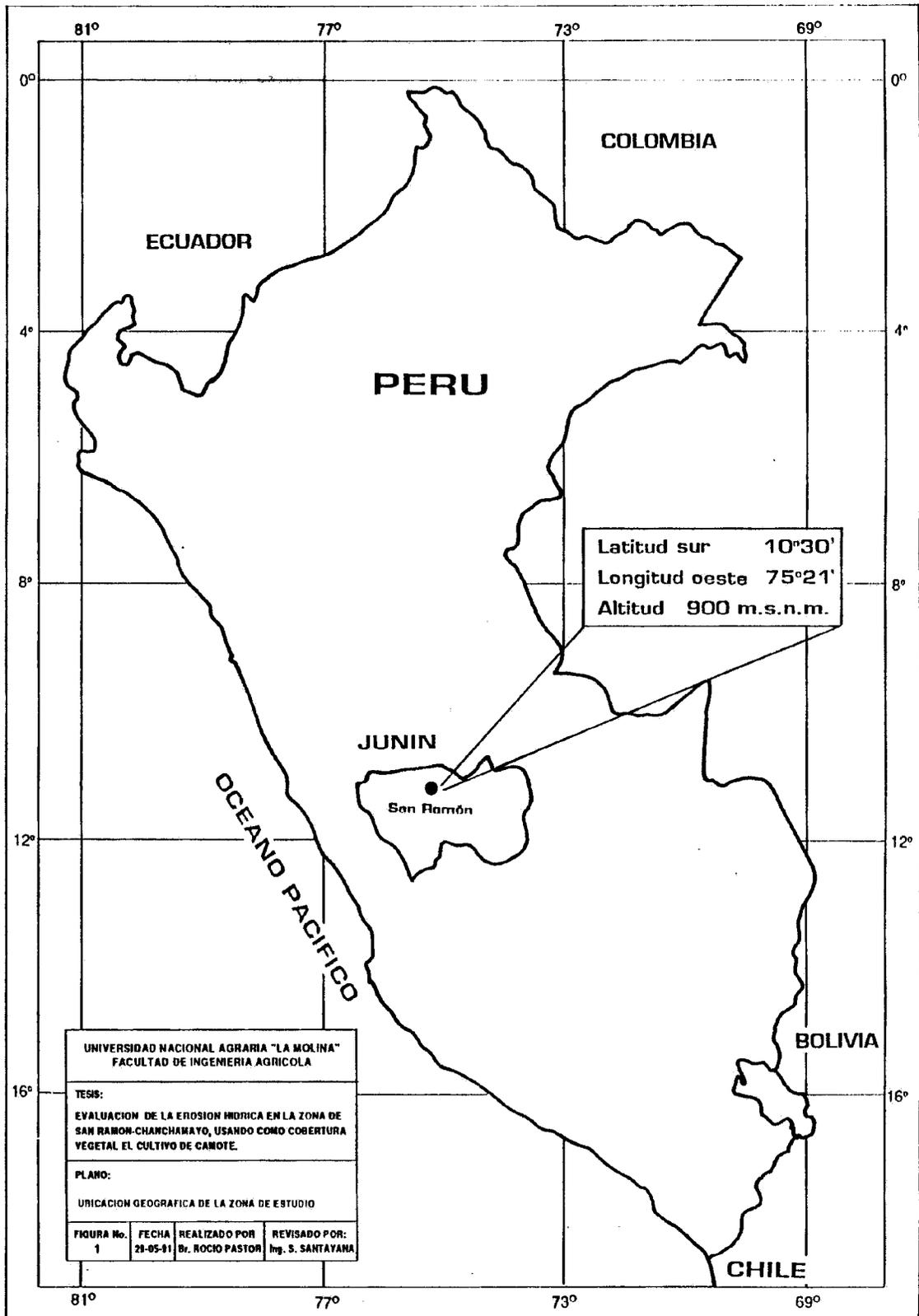
San Ramón cuenta con un campo de aterrizaje, existiendo a la fecha un servicio aéreo Lima - San Ramón los días sábado, prestado por la compañía Sasa.

Por vía terrestre se llega de Lima a San Ramón por carretera totalmente asfaltada vía Oroya - Tarma - Chanchamayo, existiendo a la fecha varias compañías que prestan el servicio diario.

Para llegar a la zona del experimento, llegando a San Ramón se sigue por la carretera que conduce a la Mina San Vicente.

###### **c. Fisiografía**

La zona de estudio se encuentra en una zona de relieve accidentado, donde la pendiente varía entre 25% y 60%. Las parcelas fueron instaladas



en una ladera de estas características, ubicada en la margen izquierda del río Tulumayo.

#### **d. Ecología**

Esta zona se encuentra situada en la región de la Selva Alta o rupa rupa del país. La formación ecológica existente es el Bosque húmedo tropical. El campo experimental se encontraba inicialmente en descanso, cubierto por una vegetación herbácea y arbustiva natural predominando el "quillo", hierba gramínea de escaso valor forrajero.

#### **e. Clima**

El clima que presenta esta zona está definido como cálido y húmedo, característica de la zona tropical de selva alta, presentando las siguientes características:

- **Temperatura.**- La temperatura promedio es de 24°C, con una temperatura máxima de 30°C y una mínima de 18°C. Las temperaturas máximas mensuales varían entre 27°C y 30°C, las mínimas entre 16°C y 19°C.

Tanto la temperatura media máxima como la temperatura media mínima tienen poca variación a lo largo del año, es decir, sus fluctuaciones no son lo suficientemente acentuadas como para que se establezcan períodos críticos en el ciclo agrícola.

- **Precipitación.**- El clima de la zona en estudio, al igual que todas las laderas orientales de Los Andes, está bajo la influencia de una masa de aire marítima tropical que proviene del Atlántico y de la evapotranspiración y evaporación del Llano Amazónico. Esta masa de aire, después de recorrer varios kilómetros sobre la Hoya Amazónica, es

elevada por los primeros levantamientos orográficos en las cordilleras más orientales de Los Andes, originándose fuertes precipitaciones locales. La precipitación en la ceja de selva está entonces fuertemente influenciada por las condiciones topográficas locales.

Presenta una precipitación total anual media de 2014,4 mm, sin embargo algunos años ocurren lluvias que llegan a 2500 mm. En cuanto a la distribución mensual de las lluvias, se observa que es bastante irregular, tal como se muestra en el Cuadro N°8. En Chanchamayo la precipitación pluvial máxima ocurre entre noviembre y marzo (época húmeda) y la mínima, entre junio a setiembre (época seca).

**Cuadro N° 8** Variación mensual de la precipitación en San Ramón, Chanchamayo

Mcs	PP. máxima	PP. mínima	PP. media
Enero	370,4	261,4	329,3
Febrero	352,2	85,3	255,3
Marzo	400,5	119,0	228,2
Abril	242,7	140,8	169,0
Mayo	225,7	99,7	141,9
Junio	286,1	30,0	128,8
Julio	152,8	24,0	79,5
Agosto	113,0	22,2	64,0
Setiembre	143,1	86,7	109,8
Octubre	266,9	157,3	197,3
Noviembre	341,8	153,9	250,0
Diciembre	264,2	101,0	205,0

- **Humedad Relativa.-** La humedad relativa corresponde a una distribución Normal, cuyos valores máximos coinciden con la época de lluvias, debido a la advección de masas de aire húmedo hacia las laderas orientales de la cordillera, lo cual provoca incluso densas nieblas que corresponden a nubes al nivel de superficie que hacen que la humedad relativa llegue hasta valores del 100%.

Durante la época seca, la presencia de altas temperaturas ambientales y la disminución en la frecuencia de advección de masas de aire húmedo, provocan una disminución drástica de la humedad, obteniéndose valores de hasta 40% en promedio mensual, lo que provoca un gran stress hídrico en los cultivos agrícolas de la zona.

- **Vientos.**- Estos son ocasionados por los Vientos Alisios, los mismos que son desviados en forma local por la topografía agreste de la cordillera Oriental, provocando la disminución de su velocidad y la descomposición en dirección hacia niveles más altos y hacia las quebradas originadas por la misma cordillera.

#### **f. Suelos**

Los suelos del área de estudio son jóvenes, de origen aluvial. Varían entre Franco-arcillosos y Franco-arcillo-limosos, presentando modificadores texturales como gravilla, grava y piedras.

En la parte superior del área, el pH varía entre 4,0 y 5,0 (ácido), mientras que en la parte inferior varía entre 5,0 y 7,0 (medianamente ácido a neutro).

La profundidad efectiva de penetración de las raíces varía, en la ladera superior, alrededor de 0,70 m y en la inferior, 1,00 m.

Estos suelos no presentan problemas de drenaje ni de salinidad, permitiendo una adecuada aireación. Su color varía de marrón a marrón claro. El color más oscuro se encuentra en la superficie por el alto contenido de materia orgánica; el color más claro está en el horizonte C.

### **g. Erosión**

La selva alta se encuentra en una profunda crisis porque muchos bosques y praderas fueron destruidos, quedando las tierras expuestas a las fuerzas del viento y de la lluvia, perdiéndose así enormes cantidades de tierras agrícolas.

A la erosión del suelo en Chanchamayo, se une la pérdida de las aguas ocasionadas por la deforestación de las cumbres y laderas. La tala indiscriminada de los bosques, unida a la precaria presencia de una capa arable en vías de extinción y la abrupta topografía, hacen que la escorrentía sea un problema de esta zona. (Foto N°1)

El valle de Chanchamayo está rodeado por montañas que corresponden al sistema de las cordilleras Orientales. Donde ocurren pendientes acentuadas y una precipitación pluvial fuerte la erosión se convierte en un factor que limita el tipo de cultivos que se pueden sembrar, la intensidad con que se usa la tierra y de manera significativa la aplicación de abonos.

La mayoría de los productores de la zona no realizan labores de conservación de suelos, notándose la falta de aplicación de las precauciones más elementales de conservación de los suelos, por lo que se viene generando una erosión continua en los flancos montañosos, lo cual conlleva a la disminución progresiva de la producción agrícola.

Debido a la gran concentración de productores en esta zona, el recurso tierra no puede aumentar en área para compensar la pérdida de su potencial productivo. Para incrementar la producción es necesario aumentar la productividad del recurso tierra mediante tecnologías adecuadas al contexto socio-económico de la región.

#### **h. Uso Actual de los Suelos**

En la zona de ceja de selva el porcentaje de tierra agrícola útil es relativamente pequeño. El valle de Chanchamayo, al estar rodeado por montañas, presenta una agricultura de ladera que se extiende hasta las cumbres mismas de las montañas.

El grueso de la población rural vive en las numerosas quebradas que descienden a los ríos Tarma y Tulumayo, la unión de los cuales forma el río Chanchamayo, perteneciendo al grupo de pequeños campesinos, que son la población predominante en el valle.

Chanchamayo es en la actualidad uno de los principales abastecedores de Lima en frutas como cítricos, paltas, plátanos, etc. Produce, además, cerca del 40% de café de la Selva Central.

El sistema agrícola dominante en Chanchamayo es el de cultivos perennes, que permite utilizar intensivamente la tierra, en combinación con formas de barbecho, donde se siembran cultivos semi-permanentes y anuales.

Las condiciones de precipitación pluvial permiten una agricultura exclusivamente de secano.

#### **3.1.2 Materiales utilizados en la Fase de Campo**

- . Equipo para limpieza del terreno: chafles, azadas
- . Equipo para construir las zanjas: palas, picos
- . Equipo para labrar el terreno: palas, azadas
- . Equipo de ingeniería: eclímetro, teodolito
- . Cilindros infiltrómetros
- . Wincha
- . Cal

- 6 bloques de 20 m de ancho por 10 m de largo, cada uno con diferente pendiente: 30%, 35%, 40%, 45%, 50% y 60%. Cada bloque dividido en 5 parcelas de 4 m de ancho por 10 m de largo.
- 48 planchas de calamina, divididas en tres partes, cada una de 0,30 m de ancho, para delimitar los bloques en su lado superior y lateralmente.
- 200 m de plástico Nº 14 de 0,40 m de ancho y 11 m de largo para dividir los bloques en 5 parcelas cada uno.
- 280 m de alambre Nº 14, colocado en la parte superior de cada plástico para tensarlos.
- 300 listones de madera de 0,45 m x 1/2" x 1/2", colocados cada 1,40 m de los plásticos y en las uniones de las calaminas.
- 4000 bolsas de plástico de 0,53 m x 1,02 m, para la recolección de las muestras.
- Ligas Nº 16, para sujetar las bolsas.
- 15 tubos de PVC,  $\phi$  2", en trozos de 0,38 m, para conectar las canaletas a las bolsas.
- 195 esquejes de camote de variedad Jewel (EEY-4), para cada parcela cultivada.
- 30 baldes con tapa, de 22 l de capacidad.
- Herbicida.
- 6 pluviómetros de plástico de 1000 cc.
- 1 balde calibrado hasta 4 l.
- 1 balde calibrado hasta 13 l.
- 1 manguera de  $\phi$  1,5" y 5 m de largo.
- 30 envases con tapa, tasados e identificados por parcela, de 1 l de capacidad, para el transporte del suelo erosionado.(\*)
- 30 envases con tapa, identificados por parcela, de 1 l de capacidad, para el transporte de las muestras de agua de escorrentía.(\*)

---

(\*) Estos envases se reemplazaban según se iban deteriorando.

- Jabas para el transporte de los envases.
- Formatos para la toma de datos.

### **3.1.3 Materiales utilizados en la Fase de Laboratorio**

- Beaker de 1 l.
- 30 envases de metal, tasados e identificados por parcela, con capacidad de 300 g, para las muestras de suelo.
- 30 pyrex, tasados e identificados por parcela, con capacidad de 125 ml, para las muestras de agua.
- 30 botellas de plástico con tapa, identificadas por parcela, de 0,25 l de capacidad, para acumular muestras de escorrentía (de 5 ml) de cada lluvia.
- Balanza de precisión de 600 g con 0,01 g de aproximación.
- Estufa eléctrica.
- Formatos para toma de datos.

## **3.2 METODOS**

### **3.2.1 Fase de Campo**

#### **a. Actividades Previas**

La primera actividad fue localizar un terreno en las inmediaciones de San Ramón que permitiera ubicar el área experimental con seis bloques de 20 m de ancho por 10 m de largo en diferentes pendientes.

Inicialmente el terreno seleccionado se encontraba en descanso, cubierto totalmente por una vegetación herbácea y arbustiva natural, la cual fue retirada (limpieza del terreno) para la instalación de los bloques.

En la parte superior de cada bloque se colocó un pluviómetro.

Se aperturó seis calicatas, tres en la parte superior de la ladera y tres en la inferior, donde se tomaron muestras para la caracterización de los suelos y para determinar la densidad aparente del mismo.

Para determinar la densidad aparente se construyeron envases de aluminio de 0,05 m de largo, tomándose muestras sin disturbar a los 0 m, 0,30 m, 0,60 m y 0,90 m.

También se realizaron cuatro pruebas de infiltración en el terreno por el método de cilindros infiltrómetros.

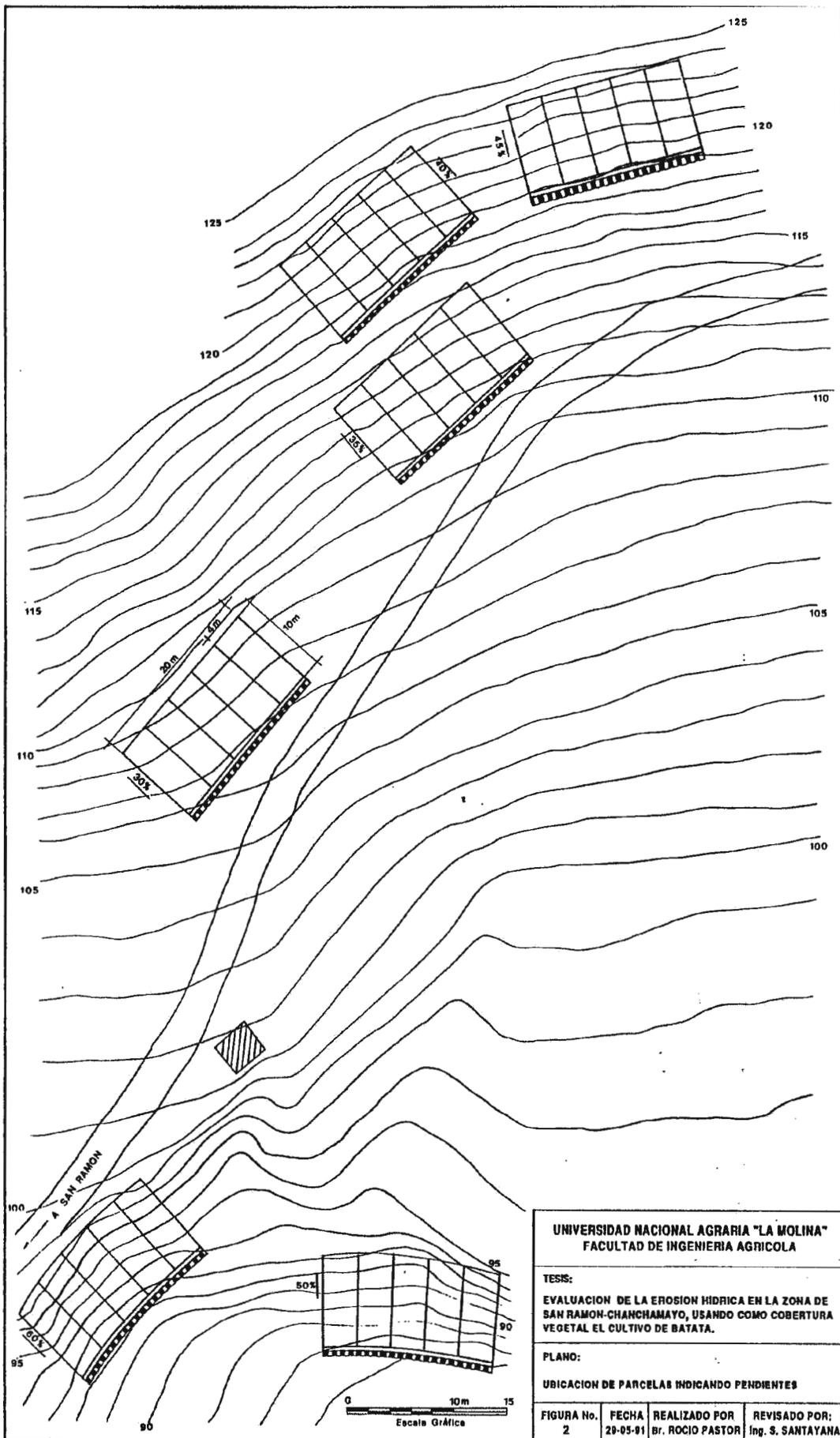
#### **b. Instalación de las Parcelas de Escorrentía**

En el área experimental se ubicaron seis bloques de 20 m de ancho por 10 m de largo con diferentes pendientes: 30%, 35%, 40%, 45%, 55% y 60%, orientadas en el sentido de la máxima pendiente. Los cuatro primeros bloques se ubicaron en la parte superior y los dos restantes en la inferior. (Fig. N<sup>o</sup>2, Fotos N<sup>o</sup>2 y N<sup>o</sup>3)

Estos bloques se delimitaron en sus lados superior y laterales con planchas de calamina de 0,30 m de ancho, las cuales se enterraron 0,10 m en el suelo. En las uniones de las calaminas se colocó dos listones de madera, para la estabilización de las mismas.

Cada bloque se subdividió en cinco parcelas, cada una de 4 m de ancho por 10 m de largo, para los diferentes tratamientos; totalizándose así 30 parcelas.

Para ésta división se utilizó plástico N<sup>o</sup> 14 con 0,40 m de ancho y 11 m de largo. En la parte superior del plástico se cosió alambre N<sup>o</sup> 14 para que éstos quedaran tensos, sobrando 0,5 m de alambre a cada lado para poder sujetarlo a listones de madera. Cada 1,40 m, se colocó listones de madera de 0,45 m de alto y se enterró el plástico 0,15 m en el suelo. (Foto N<sup>o</sup>4)



Al costado de las calaminas, a un metro de distancia, se construyó canales de 0,30 m de ancho por 0,30 m de profundidad, para aislar los bloques y evitar que llegue la escorrentía procedente de las áreas aledañas.

A lo largo del extremo inferior de cada parcela se construyó una canaleta de 0,15 m de ancho por 0,15 m de altura, la cual se cubrió con plástico Nº 14. Esta canaleta permitió recoger el agua de escorrentía. (Foto Nº5)

En la canaleta se colocó 4 tubos enterrados de PVC de  $\phi$  2" y 0,38 m de largo, para dirigir el agua de escorrentía a las bolsas colectoras (4 por parcela). Estas eran de plástico de 0,53 m x 1,02 m, con una capacidad aproximada de 50 l y se sujetaban a los tubos por medio de ligas. (Foto Nº5)

En el lugar donde iba cada bolsa se aperturó zanjas de 0,6 m x 0,6 m x 0,6 m, para que las mismas se acomodaran sin dificultad.

En cada parcela se colocó un balde de plástico con tapa, de 22 l de capacidad, donde se colectaba diariamente el contenido de las cuatro bolsas (agua de escorrentía) dejando reposar el agua por 24 horas. En las lluvias que sobrepasaban esa capacidad, el agua restante se colectó en bolsas aparte.

### **c. Descripción de los Tratamientos**

En ésta investigación se aplicaron cinco tratamientos en seis pendientes diferentes, para evaluar el proceso de erosión hídrica de los suelos de la zona. En tres de los tratamientos se instaló el cultivo de camote, variedad Jewel, con una práctica de conservación de suelos (surcos en contorno) y dos tratamientos de comparación.

#### **. Tratamiento I - Vegetación natural**

Después de limpiar el terreno se permitió que la vegetación se desarrollara libremente a la par con el camote. (Foto N°6)

#### **. Tratamiento II - Surcos a favor de la máxima pendiente**

Luego de preparado los surcos, 5 por parcela, se procedió a la siembra, colocando 30 esquejes de camote por surco. El distanciamiento entre surcos fue de 0,80 m y entre plantas de 0,25 m, totalizándose 195 esquejes por parcela. Al mes de siembra se procedió al aporque y al abonamiento. (Foto N°7)

#### **. Tratamiento III - Surcos en contorno con aporque**

Se prepararon 13 surcos por parcela, sembrándose 15 esquejes de camote por surco. El distanciamiento entre surcos fue de 0,78 m y entre plantas de 0,26 m, totalizándose de igual manera 195 esquejes por parcela. Al mes de siembra se procedió al aporque y al abonamiento. (Foto N°8)

#### **. Tratamiento IV - Surcos en contorno sin aporque**

Se preparó el terreno y se colocaron los esquejes de igual forma que para el tratamiento 4. Se varió en la forma de siembra porque los esquejes fueron cubiertos con mayor cantidad de tierra para que no fuera necesario un aporque posterior. Al mes, para la aplicación del abono sólo se hizo un repique (cubrir el abono con poca tierra). (Foto N°8)

#### **. Tratamiento V - Suelo desnudo**

Consistió en limpiar el terreno, dejándolo completamente desnudo. Por medio de la aplicación de herbicidas se impidió el crecimiento de la vegetación natural. (Foto N°9)

Para el abonamiento, efectuado al mes de siembra, se utilizó la fórmula 80-40-120 kg/ha de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y K<sub>2</sub>O, respectivamente, en los tratamientos 2, 3 y 4.

#### **d. Medidas de Campo**

##### **Diariamente:**

- Se midió la cantidad de lluvia recogida en los pluviómetros.
- Con el contenido de una de las cuatro bolsas se lavó previamente la canaleta.
- Por cada parcela, se juntó en el balde de 22 l, el agua con sedimentos recolectada en las cuatro bolsas. Para los casos en que se sobrepasaba la capacidad del balde, el agua restante se juntó en bolsas de plástico de igual dimensión que las anteriores. Esta agua de escorrentía se dejaba reposar por 24 horas, permitiendo así que el suelo erosionado sedimente. (Foto N°10)
- El volumen de agua, ya reposado, se midió por el método de sifón, utilizando una manguera de  $\phi$  1,5" y 5 m de largo. El agua se midió en balde de 4 l ó 13 l, dependiendo de la cantidad de lluvia.
- En envases identificados se tomó muestras de 0,5 l de agua para determinar en el laboratorio los sedimentos en suspensión y para el análisis de nutrientes.
- Todo el suelo erosionado se llevó al laboratorio en envases identificados y tasados. (Foto N°11)

### **Semanalmente**

Desde la siembra, se midió la cobertura vegetal en las parcelas con camote, por el método desarrollado en el Centro Internacional de la Papa (CIP), el cual consiste en medir la superficie del suelo que va siendo cubierto por el cultivo al crecer.

Se construyó una rejilla con marco de madera y reticulado de alambre delgado o de nylon. Las dimensiones internas de longitud y ancho son iguales a las distancias entre surcos y entre plantas o pueden ser múltiplo de éstos. En nuestro caso el marco fué de 0,26 m x 0,80 m. El área interna de la rejilla se divide en rectángulos iguales, colocando cuidadosamente los alambres o el nylon. (Foto N°12)

La recolección de datos se efectuó sosteniendo la rejilla sobre una planta. Mirando de arriba hacia abajo se contó el número de cuadros o rectángulos que tenían más de 50% de su área cubierta por hojas verdes. Este número se dividió por el número total de rectángulos en el marco (30), para calcular el valor de la capacidad de cobertura foliar. Las lecturas se repitieron cuatro veces en cada parcela experimental y se efectuaron con intervalos de 7 días hasta que se cubrió totalmente la superficie del suelo.

### **3.2.2 Fase de Laboratorio**

#### **a. Partículas en Suspensión**

- Se identificó y pesó los 30 pyrex limpios. (E)
- Se llenó los pirex con el agua de escorrentía hasta 125 ml y se colocaron en la estufa a 105°C, durante 24 horas.
- Se pesó los envases con sedimentos. (PMS)

### **b. Partículas de Fondo**

- Se pesó los envases que se trajeron del campo y que contenían el suelo erosionado. (PTH+E<sub>1</sub>)
- Se pesó los 30 envases de metal. (E<sub>2</sub>)
- Se colocó una muestra del suelo erosionado en los envases de metal y se pesó. (PMH+E<sub>2</sub>)
- Se introdujo estos envases en la estufa a 105°C, durante 24 horas.
- Se pesó los envases con las muestras secas. (PMS+E<sub>2</sub>)

### **c. Pérdida de Nutrientes en el Agua de Escorrentía**

De los envases con agua de escorrentía, se sacó una muestra de 5 ml, colocándola en una botella de plástico identificada. Del conjunto de muestras de todas las lluvias se efectuó, por parcela, un análisis final de pérdida total de nutrientes.

### **d. Pérdida de Nutrientes en los Sedimentos Erosionados**

De los envases con sedimentos secos se obtuvo muestras, colocándolas en bolsas identificadas por parcela, para realizar un solo análisis por parcela de nutrientes del suelo erosionado.

## **3.2.3 Fase de Gabinete**

### **a. Agua Evaporada Total**

$$AET = \frac{PTH - PTS}{1000}$$

donde:

AET: agua evaporada total (l)

PTH: peso total húmedo (g)

PTS: peso total seco (g)

### **b. Escorrentía Total**

$$ET = ESC + AET$$

donde:

ET: escorrentía total (l)

ESC: escorrentía medida en el campo (l)

AET: agua evaporada total (l)

### **c. Peso Total de las Partículas en Suspensión**

$$PTPS = \frac{ET * PMS}{0,125}$$

donde:

PTPS: peso total de las partículas en suspensión (g)

ET: escorrentía total (l)

PMS: peso muestra seca de las partículas en suspensión (g)

### **d. Peso Total de las Partículas de Fondo**

$$PTPF = \frac{PTH * PMS}{PMH}$$

donde:

PTPF: peso total de las partículas de fondo (g)

PTH: peso total húmedo (g)

PMS: peso muestra seca de las partículas de fondo (g)

PMH: peso de la muestra húmeda de las partículas de fondo (g)

#### **e. Pérdida Total de Suelo**

$$PTS = PTPS + PTPF$$

donde:

PTS: pérdida total de suelo (g)

PTPS: peso total de las partículas en suspensión (g)

PTPF: peso total de las partículas de fondo (g)

#### **f. Pérdida de nutrientes**

Las muestras fueron enviadas al Laboratorio de Análisis de Suelos y Plantas de la Universidad Nacional Agraria, La Molina.

En las muestras del suelo erosionado se evaluó el pH, CE (mmhos/cm), MO (%), P (ppm), K<sub>2</sub>O (kg/ha) y Al<sup>3+</sup> (meq/100g).

En las muestras del agua de escorrentía se evaluó el pH, CE (mmhos/cm), Ca (meq/l), Mg (meq/l) y K (meq/l).

#### **g. Análisis estadístico**

Los datos fueron analizados a través de una regresión múltiple, donde la variable dependiente es la erosión y las independientes la escorrentía, la cobertura, la pendiente del terreno y la cantidad de lluvia precipitada.

## IV RESULTADOS Y DISCUSION

### 4.1 VARIACION DE LA ESCORRENTIA Y EROSION DEBIDA A LOS TRATAMIENTOS

#### 4.1.1 Pendiente 30 %

En el Cuadro N<sup>o</sup>9, se presentan los valores de la escorrentía y de la erosión total.

**Cuadro N<sup>o</sup> 9** Variación de la escorrentía y de la erosión debida a los tratamientos

Pendiente 30%	Escorrentía		Erosión	
	l	% de lluvia	g	tn/ha
Vegetación natural	1687,25	4,08	1749,94	0,44
Surcos a favor de la pendiente	2363,46	5,72	9664,68	2,42
Surcos en contorno con aporque	1268,78	3,07	2611,92	0,65
Surcos en contorno sin aporque	1207,53	2,92	2241,43	0,56
Suelo desnudo	2514,00	6,08	59539,62	14,88

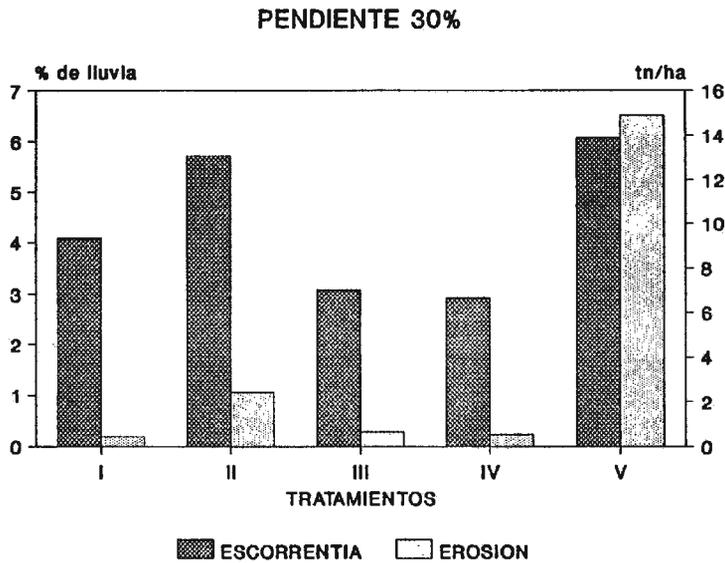
Las lluvias totalizaron 1034 milímetros en el período de evaluación. La precipitación máxima fue de 61,4 mm.

Se puede observar en el Gráfico N<sup>o</sup>1, que el suelo desnudo fue el tratamiento más erosivo con 14,88 tn/ha de suelo perdido y con 6,08% de lluvia escurrida.

El tratamiento que le sigue es el de surcos a favor de la máxima pendiente. Esta práctica redujo en 84% la erosión y en sólo 6% la escorrentía con respecto al tratamiento anterior.

**Gráfico Nº 1**

**Variación de la escorrentía y de la erosión debida a los tratamientos**



El tratamiento vegetación natural redujo en un 97% la erosión y en 33% la escorrentía con respecto al suelo desnudo. Comparándola con el tratamiento en surcos a favor de la máxima pendiente, este tratamiento reduce la erosión en un 82% y la escorrentía en 29%.

Comparando los dos tratamientos con surcos en contorno con respecto al suelo desnudo, estos redujeron la erosión en 96%. Los surcos con aporque redujeron en 50% la escorrentía mientras que los surcos sin aporque la redujeron en 52%.

Los surcos en contorno con aporque reducen la erosión y la escorrentía en 73% y en 46%, respectivamente, con respecto al tratamiento surcos a favor de la máxima pendiente, mientras que el tratamiento sin aporque la reduce en 77% y en 49%, respectivamente.

Cabe destacar que en las inmediaciones de este bloque existe un manantial que mantiene con altos contenidos de humedad ese terreno.

#### 4.1.2 Pendiente 35 %

En el Cuadro N°10, se presentan los valores de la escorrentía y de la erosión total.

**Cuadro N° 10** Variación de la escorrentía y de la erosión debida a los tratamientos

Pendiente 35%	Escorrentía		Erosión	
	l	% de lluvia	g	tn/ha
Vegetación natural	1662,74	4,00	1924,68	0,48
Surcos a favor de la pendiente	1787,73	4,30	13333,41	3,33
Surcos en contorno con aporque	1153,96	2,77	3868,84	0,97
Surcos en contorno sin aporque	945,42	2,27	2466,67	0,62
Suelo desnudo	2039,63	4,90	52115,72	13,03

Las lluvias totalizaron 1040 milímetros en el período de evaluación, siendo la precipitación máxima de 65,8 mm.

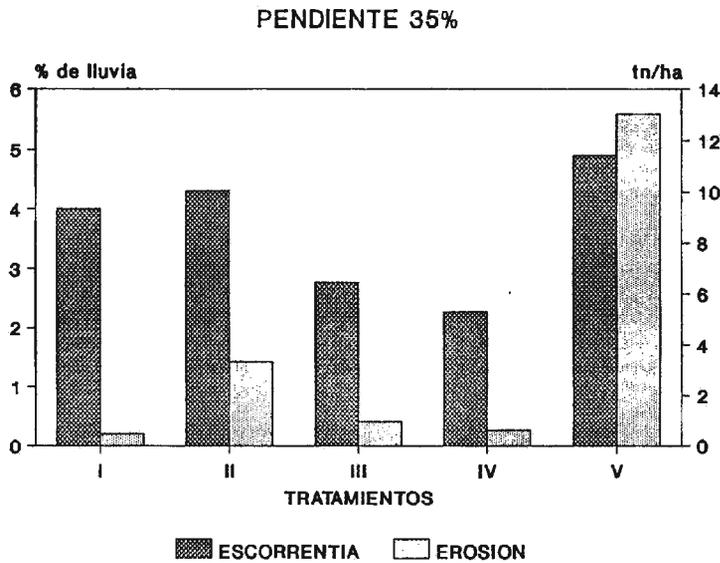
En el Gráfico N° 2, se observa que el suelo desnudo fue el tratamiento más erosivo con 13,03 tn/ha de suelo perdido y con 4,90% de lluvia escurrida.

El tratamiento que le sigue es el de surcos a favor de la máxima pendiente, reduciendo en 74% la erosión y en sólo 12% la escorrentía con respecto al tratamiento anterior.

El tratamiento vegetación natural redujo en un 96% la erosión y en sólo 18% la escorrentía con respecto al suelo desnudo. Comparándola con el

tratamiento en surcos a favor de la máxima pendiente, este tratamiento reduce la erosión en un 86% y la escorrentía en solamente 7%.

**Gráfico Nº 2** Variación de la escorrentía y de la erosión debida a los tratamientos



Comparando los dos tratamientos con surcos en contorno con respecto al suelo desnudo tenemos que los surcos con aporque redujeron la erosión en un 93% y los surcos sin aporque en un 95%. Los primeros redujeron en 43% la escorrentía mientras que los surcos sin aporque la redujeron en 54%.

Los surcos en contorno con aporque reducen la erosión y la escorrentía en 71% y en 36%, respectivamente, con respecto al tratamiento surcos a favor de la máxima pendiente, mientras que el tratamiento sin aporque la reduce en 82% y en 47%, respectivamente.

#### 4.1.3 Pendiente 40 %

En el Cuadro N°11, se presentan los valores de la escorrentía y de la erosión total.

**Cuadro N° 11** Variación de la escorrentía y de la erosión debida a los tratamientos

Pendiente 40%	Escorrentía		Erosión	
	l	% de lluvia	g	tn/ha
Vegetación natural	1529,99	3,62	4380,09	1,10
Surcos a favor de la pendiente	1540,87	3,65	12847,03	3,21
Surcos en contorno con aporque	1100,74	2,61	5058,03	1,26
Surcos en contorno sin aporque	1002,53	2,37	2810,39	0,70
Suelo desnudo	1736,13	4,11	45532,68	11,38

Las lluvias totalizaron 1056 milímetros en el período de evaluación. La precipitación máxima fue de 65,8 mm.

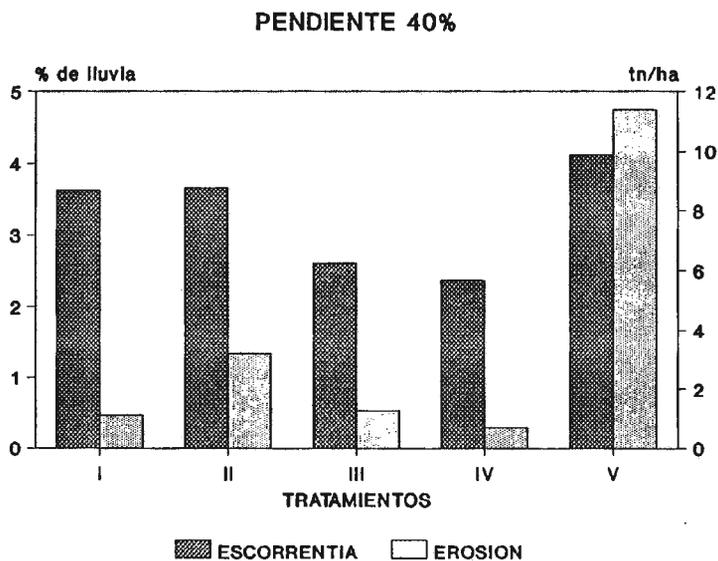
En el Gráfico N°3, se observa que el suelo desnudo fue el tratamiento más erosivo con 11,38 tn/ha de suelo perdido y con 4,11% de lluvia escurrida.

El tratamiento surcos a favor de la máxima pendiente es el tratamiento que le sigue, reduciendo la erosión en 72% y la escorrentía en 11%, con respecto al tratamiento anterior.

El tratamiento vegetación natural redujo en un 90% la erosión y en 12% la escorrentía con respecto al suelo desnudo. Comparándola con el tratamiento en surcos a favor de la máxima pendiente, este tratamiento reduce la erosión en un 66% y la escorrentía en sólo 1%.

Gráfico Nº 3

Variación de la escorrentía y de la erosión debida a los tratamientos



Comparando los dos tratamientos con surcos en contorno con respecto al suelo desnudo tenemos que los surcos con aporque redujeron la erosión en un 89% y los surcos sin aporque en un 94%. Los primeros redujeron en 36% la escorrentía mientras que los surcos sin aporque la redujeron en 42%.

Con respecto al tratamiento surcos a favor de la máxima pendiente, los surcos en contorno con aporque reducen la erosión y la escorrentía en 61% y en 28% respectivamente, mientras que el tratamiento sin aporque la reduce en 78% y en 35%, respectivamente.

#### 4.1.4 Pendiente 45 %

En el Cuadro N°12, se presentan los valores de la escorrentía y de la erosión total.

**Cuadro N° 12** Variación de la escorrentía y de la erosión debida a los tratamientos

Pendiente 45%	Escorrentía		Erosión	
	l	% de lluvia	g	tn/ha
Vegetación natural	2113,71	5,18	3422,53	0,86
Surcos a favor de la pendiente	1341,36	3,29	16026,26	4,01
Surcos en contorno con aporque	1083,89	2,66	5057,31	1,26
Surcos en contorno sin aporque	1264,87	3,10	6322,75	1,58
Suelo desnudo	2402,12	5,89	30950,15	7,74

Las lluvias totalizaron 1020 milímetros en el período de evaluación, siendo la precipitación máxima de 63,6 mm.

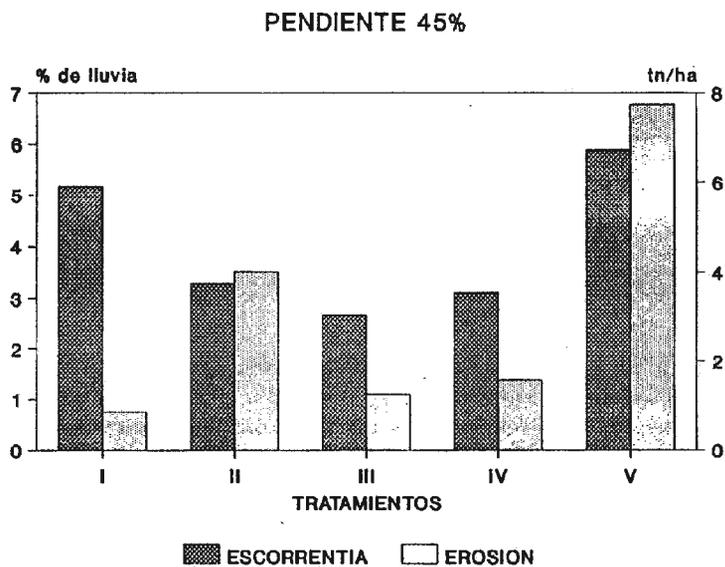
En el Gráfico N°4, se observa que el suelo desnudo fue el tratamiento más erosivo con 7,74 tn/ha de suelo perdido y con 5,89% de lluvia escurrida.

El tratamiento surcos a favor de la máxima pendiente es el que le sigue en valores de erosión, reduciéndola en 48% con respecto al tratamiento anterior.

El tratamiento vegetación natural es el que presenta los valores más altos de escorrentía después del tratamiento suelo desnudo, reduciéndola en sólo 12% con respecto a ese tratamiento.

Gráfico Nº 4

Variación de la escorrentía y de la erosión debida a los tratamientos



El tratamiento surcos a favor de la pendiente reduce la escorrentía en 44% con respecto al tratamiento suelo desnudo y en 37% con respecto al tratamiento vegetación natural.

El tratamiento vegetación natural reduce la erosión en 89% con respecto al tratamiento suelo desnudo y en 79% con respecto al tratamiento surcos a favor de la pendiente.

Comparando los dos tratamientos con surcos en contorno con respecto al suelo desnudo tenemos que los surcos con aporque redujeron la erosión en un 84% y los surcos sin aporque en 80%. Los primeros redujeron en 55% la escorrentía mientras que los surcos sin aporque la redujeron en 47%.

Los surcos en contorno con aporque reducen la erosión en 68% y los surcos sin aporque la reducen en 61% con respecto al tratamiento surcos a favor de la máxima pendiente. Estos mismos tratamientos reducen la escorrentía en 49% y 40%, respectivamente, con respecto al tratamiento vegetación natural.

#### 4.1.5 Pendiente 50 %

En el Cuadro N°13, se presentan los valores de la escorrentía y de la erosión total.

**Cuadro N° 13** Variación de la escorrentía y de la erosión debida a los tratamientos

Pendiente 50%	Escorrentía		Erosión	
	l	% de lluvia	g	tn/ha
Vegetación natural	1030,61	2,55	1802,28	0,45
Surcos a favor de la pendiente	935,76	2,31	7274,09	1,82
Surcos en contorno con aporque	824,50	2,04	2950,70	0,74
Surcos en contorno sin aporque	922,11	2,28	2213,05	0,55
Suelo desnudo	1935,39	4,78	12484,44	3,12

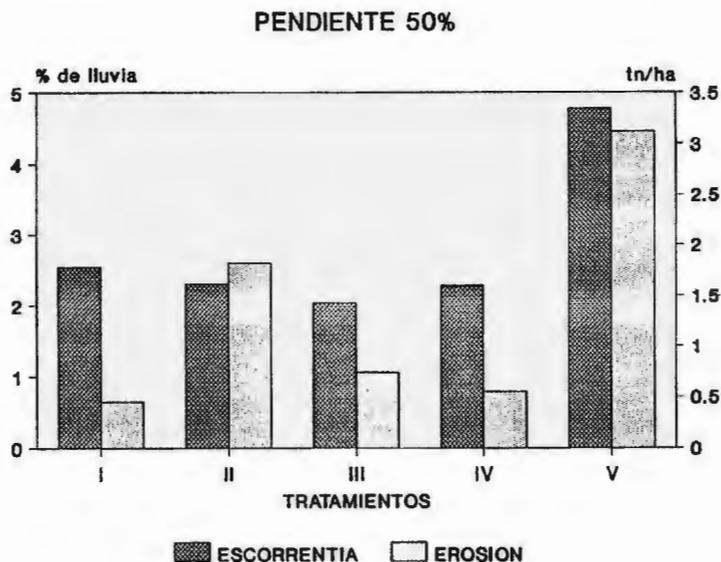
Las lluvias totalizaron 1012 milímetros en el período de evaluación. La precipitación máxima fue de 57,0 mm.

En el Gráfico N°5, se observa que nuevamente el tratamiento suelo desnudo fue el tratamiento más erosivo con 3,12 tn/ha de suelo perdido y con 4,78% de lluvia escurrida.

El tratamiento surcos a favor de la máxima pendiente es el que le sigue en valores de erosión, reduciéndola en 42% con respecto al tratamiento anterior.

Gráfico N° 5

Variación de la escorrentía y de la erosión debida a los tratamientos



El tratamiento vegetación natural es el que presenta los valores más altos de escorrentía después del tratamiento suelo desnudo, reduciéndola en 47% con respecto a ese tratamiento.

El tratamiento surcos a favor de la pendiente reduce la escorrentía en 52% con respecto al tratamiento suelo desnudo y en sólo 9% con respecto al tratamiento vegetación natural.

El tratamiento vegetación natural reduce la erosión en 86% con respecto al tratamiento suelo desnudo y en 75% con respecto al tratamiento surcos a favor de la pendiente.

Comparando los dos tratamientos con surcos en contorno con respecto al suelo desnudo tenemos que los surcos con aporque redujeron la

erosión en un 76% y los surcos sin aporque en 82%. Los primeros redujeron en 57% la escorrentía mientras que los surcos sin aporque la redujeron en 52%.

Los surcos en contorno con aporque reducen la erosión en 59% y los surcos sin aporque la reducen en 70% con respecto al tratamiento surcos a favor de la máxima pendiente. Estos mismos tratamientos reducen la escorrentía en 20% y 11%, respectivamente, con respecto al tratamiento vegetación natural.

#### 4.1.6 Pendiente 60 %

En el Cuadro N°14, se presentan los valores de la escorrentía y de la erosión total.

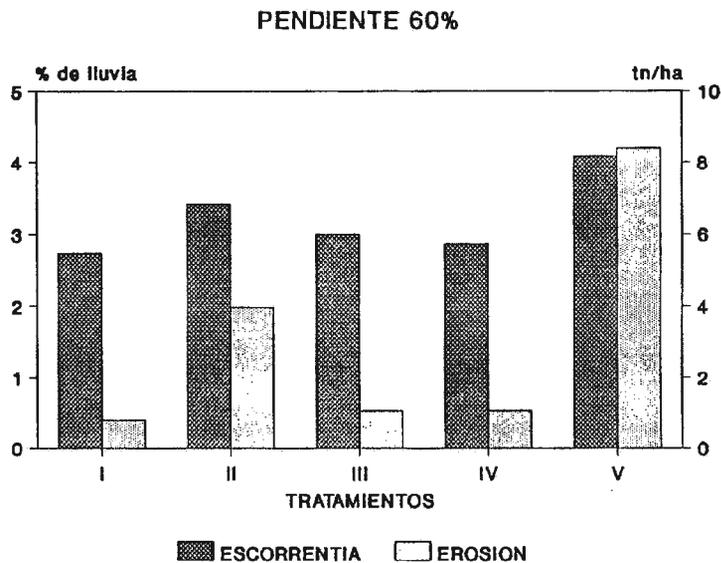
**Cuadro N° 14 Variación de la escorrentía y de la erosión debida a los tratamientos**

Pendiente 60%	Escorrentía		Erosión	
	l	% de lluvia	g	tn/ha
Vegetación natural	1110,67	2,74	3178,19	0,79
Surcos a favor de la pendiente	1383,07	3,42	15850,02	3,96
Surcos en contorno con aporque	1216,08	3,00	4240,98	1,06
Surcos en contorno sin aporque	1157,32	2,86	4223,20	1,06
Suelo desnudo	1652,11	4,08	33578,10	8,39

Las lluvias, igual que para la pendiente anterior, totalizaron 1012 milímetros en el período de evaluación con una precipitación máxima de 57,0 mm.

Se puede observar en el Gráfico N°6, que el suelo desnudo fue el tratamiento más erosivo con 8,39 tn/ha de suelo perdido y con 4,08% de lluvia escurrida.

**Gráfico N° 6** Variación de la escorrentía y de la erosión debida a los tratamientos



El tratamiento que le sigue es el de surcos a favor de la máxima pendiente. Esta práctica redujo en 53% la erosión y en 16% la escorrentía con respecto al tratamiento anterior.

El tratamiento vegetación natural redujo en 91% la erosión y en 33% la escorrentía con respecto al suelo desnudo. Comparándola con el tratamiento en surcos a favor de la máxima pendiente, este tratamiento reduce la erosión en un 80% y la escorrentía en 20%.

Comparando los dos tratamientos con surcos en contorno con respecto al suelo desnudo, estos redujeron la erosión en 87%. Los surcos con aporque redujeron en 26% la escorrentía mientras que los surcos sin aporque la redujeron en 30%.

Estos dos tratamientos surcos en contorno reducen la erosión en 73% con respecto al tratamiento surcos a favor de la máxima pendiente. En cuanto a la escorrentía, los surcos con aporque la reducen en 12% y los surcos sin aporque en 16%, con respecto al mismo tratamiento.

#### **4.2 DISCUSION SOBRE LA VARIACION DE LA ESCORRENTIA Y DE LA EROSION DEBIDA A LOS TRATAMIENTOS**

Para cada pendiente, hasta el mes y medio de evaluación no se aprecia mayor diferencia de escorrentía acumulada y erosión acumulada entre sus tratamientos. A partir de ese momento se presentan diferencias entre los tratamientos de suelo desnudo y a favor de la máxima pendiente con respecto a los otros tres tratamientos. (Anexo N°2)

En el tratamiento vegetación natural, al limpiar inicialmente el terreno se favoreció la escorrentía y la erosión del suelo. Dada las condiciones tropicales húmedas y calurosas de la zona, la vegetación natural no tardó en desarrollarse nuevamente en el campo, cubriendo completamente el suelo, protegiéndolo así del efecto erosivo de la lluvia.

A lo largo del período de evaluación se observa que para todas las pendientes la menor erosión se produce en los tratamientos correspondientes a vegetación natural y a los dos tratamientos surcos en contorno. Esto se debe probablemente a la gran interceptación de flujo que estos realizan, atenuando la energía de las gotas de lluvia al caer sobre la superficie. Los surcos en contorno dificultan el movimiento del agua y del suelo removido.

Estos tratamientos alcanzaron erosiones acumuladas entre 0,44 tn/ha y 1,58 tn/ha, lo que indicaría que cualquiera de estos tratamientos es apropiado para realizar un control de la erosión hídrica en laderas, pero si incorporamos el concepto de rentabilidad, los mejores tratamientos fueron los surcos en contorno con y sin aporte.

En todas las pendientes se presentó una pequeña diferencia con respecto a la erosión entre los dos tratamientos en surcos en contorno, siendo ligeramente más elevada en el tratamiento con aporte, oscilando los valores entre 0,65 tn/ha (pendiente 30%) y 1,26 tn/ha (pendiente 40% y 45%). Para el tratamiento sin aporte los valores oscilaron entre 0,56 tn/ha (pendiente 30%) y 1,58 tn/ha (pendiente 45%).

Esta diferencia se debe a que en el tratamiento surcos en contorno sin aporte el suelo sólo fue removido al momento de la siembra, mientras que para el otro tratamiento en surcos en contorno se removió dos veces, en la siembra y para el aporte. Cabe destacar que esta diferencia no es visible para la máxima pendiente (pendiente 60%).

En lo relacionado a los tratamientos suelo desnudo y a favor de la máxima pendiente, estos tienen mayor erosión que los tres tratamientos anteriores.

El tratamiento suelo desnudo, resulta ser el tratamiento que presenta la mayor erosión acumulada, con valores que oscilan entre 3,12 tn/ha (pendiente 50%) y 14,88 tn/ha (pendiente 30%), mientras que los valores de la erosión acumulada del tratamiento surcos a favor de la máxima pendiente oscilan entre 1,82 tn/ha (pendiente 50%) y 3,96 tn/ha (pendiente 60%).

El resultado que en el suelo desnudo se presente una mayor erosión se atribuye a que el suelo está completamente descubierto y expuesto a la

acción erosiva de la lluvia. Como no se presenta ninguna resistencia al flujo superficial, las partículas de suelo son fácilmente removidas y transportadas.

La diferencia entre estos dos tratamientos, suelo desnudo y surcos a favor de la máxima pendiente, se presenta a partir del momento en que el segundo tratamiento alcanza aproximadamente el 50% de cobertura vegetal, debido probablemente a que las partículas del suelo removido para formar los surcos se han estabilizado y a que una vez que el cultivo alcanzó un buen desarrollo, cubrió eficientemente los surcos, protegiendo al suelo de la lluvia y del arrastre por escorrentía.

En todas las pendientes quedó demostrado que la parcela con vegetación natural protege menos el suelo de la escorrentía que los dos tratamientos con surcos en contorno, presentando mayor escorrentía que éstas pero menos que los tratamientos surcos a favor de la pendiente y suelo desnudo.

Para todas las pendientes, los tratamientos surcos en contorno con aporque y sin aporque presentaron la menor escorrentía, obteniéndose muy poca variación entre ellas. Este resultado se debe a que este método de siembra reduce la velocidad del agua, manteniéndolo por más tiempo en el suelo y favoreciendo la infiltración. Para el tratamiento sin aporque, los valores de escorrentía oscilaron entre 2,27% de lluvia (pendiente 35%) y 3,10 % de lluvia (pendiente 45%), mientras que para el tratamiento con aporque varió entre 2,04% de lluvia (pendiente 50%) y 3,07% de lluvia (pendiente 30%).

En el Anexo N°3, se presenta, para cada una de las parcelas, los gráficos correspondientes a la relación porcentual entre la escorrentía y las pérdidas de suelo acumuladas, con el número de eventos de lluvia.

De acuerdo al porcentaje de eventos de lluvia, que fueron 62, el porcentaje acumulado de escorrentía y de erosión varía según los tratamientos.

Se puede observar que sólo un 20% de los eventos produjo la mayor escorrentía acumulada en el tratamiento vegetación natural, siendo en promedio del 60%, lo cual representó el 67% de la pérdida de suelo total.

Este mismo porcentaje de eventos produjo en los tratamientos suelo desnudo y surcos a favor de la máxima pendiente el 55% de la escorrentía total, representando el 91% y el 79% de la pérdida de suelo, respectivamente.

Para los tratamientos con surcos en contorno, este porcentaje de eventos sólo representó, en promedio, el 50% de la escorrentía y el 65% de la erosión total.

Esta tendencia puede explicarse porque el mayor número de eventos se ubica en pequeñas tormentas de baja intensidad. Son pocas y grandes tormentas las que producen un gran porcentaje de las pérdidas de suelo y de la escorrentía total.

#### **4.3 DISCUSION SOBRE LA VARIACION DE LA ESCORRENTIA Y DE LA EROSION DEBIDA A LAS PENDIENTES**

Diversos estudios han demostrado una estrecha relación entre la cantidad de agua escurrida y la cantidad de suelo erosionado con la variación de la pendiente del terreno.

Se espera que a un aumento de la pendiente ocurra una mayor escorrentía debido a que el agua fluye más rápido y por lo tanto el tiempo de

infiltración es menor, aumentando a su vez la cantidad de suelo que se esparce cuesta abajo.

En estudios desarrollados bajo condiciones similares se han establecido diferentes expresiones matemáticas, pero en la presente investigación, donde las condiciones de campo no son similares, no fue posible establecer ninguna relación matemática en función de la pendiente.

Al analizar los gráficos anteriores (Graf. N°1 al N°6) se observa que la mayor escorrentía se presentó en la pendiente de 30% para los tratamientos surcos a favor de la máxima pendiente y suelo desnudo. Tal como afirma Sánchez (1981), cuando el suelo se encuentra saturado, las lluvias muy intensas pueden ocasionar considerable escorrentía aun en pendientes suaves. Esta afirmación nos explica la mayor escorrentía ocurrida en la pendiente de 30%, en comparación con el resto de pendientes, debido a que en las inmediaciones de este bloque existe un manantial que permitió mantener el terreno constantemente húmedo y por lo tanto, el agua discurrió más fácilmente por presentar una capacidad de infiltración mínima.

Los otros tres tratamientos de esa misma pendiente también presentaron, en un inicio de las evaluaciones, valores altos comparados con las otras pendientes pero luego su cobertura ayudó a contrarrestar el efecto de humedad, manteniendo más tiempo el agua de lluvia en el terreno, facilitando la infiltración.

La pendiente de 50% es la que presentó los valores más bajos de escorrentía para todos los tratamientos con respecto a las otras pendientes, debido a que en este lugar existe una alta permeabilidad, lo que fue corroborado por las pruebas de infiltración. (Anexo N°1)

En la pendiente de 50% podemos observar la influencia de la cobertura con respecto a la escorrentía. Cuando todos los tratamientos

obtuvieron 100% de cobertura, los valores de escorrentía en el suelo desnudo fueron mayores con respecto a los otros tratamientos. Antes de adquirir la cobertura total el tratamiento con surcos a favor de la pendiente presentó mayor escorrentía que el suelo desnudo debido a que el surco facilita el movimiento del agua que discurre, aumentando su velocidad y por lo tanto disminuyendo la infiltración.

El tratamiento suelo desnudo de la pendiente 30% es el que presentó la mayor erosión, lo cual se puede explicar por la baja resistencia a la erosión debido a la constante humedad del suelo, quedando demostrado que la erosión es mayor cuando la lluvia cae sobre un suelo húmedo.

La parcela con el tratamiento suelo desnudo de la pendiente 50% presentó una menor erosión que el mismo tratamiento en las otras pendientes, lo cual puede deberse a la presencia de una gran cantidad de raíces casi superficiales que aumentan la resistencia del suelo al movimiento de las partículas.

En la pendiente de 60% no se obtuvieron los valores esperados de escorrentía (más altos) porque se encontraba ubicada muy cerca de la pendiente de 50%, presentando también una alta permeabilidad pero menor a la de 50%.

La pendiente que posee una mayor erosión en todos sus tratamientos con cobertura, comparado con las otras pendientes es la de 45%. Esto se debe, probablemente, a la mayor infiltración que se produce en las dos pendientes superiores (50% y 60%), ocasionando una menor escorrentía y por lo tanto un menor movimiento de las partículas removidas.

Se observa que a mayor pendiente, la diferencia de la erosión acumulada entre los tratamientos suelo desnudo y surcos a favor de la máxima pendiente es cada vez menor.

A mayor pendiente el terreno presenta un drenaje natural mayor, lo que ocasiona que en un mismo período de tiempo las parcelas presenten menor humedad y por lo tanto una mayor infiltración inicial.

También se observa que a mayor pendiente la diferencia respecto a la escorrentía acumulada entre los tratamientos considerados es cada vez menor.

Finalmente al comparar la cantidad de erosión acumulada con el valor límite de tolerancia de pérdida de suelo dado por Páez y Rodríguez (1985), cuyo valor es de 12 tn/ha, se puede decir que sólo el tratamiento con suelo desnudo para las pendientes de 30%, 35% y 40% superan este valor.

#### 4.4 RENDIMIENTOS

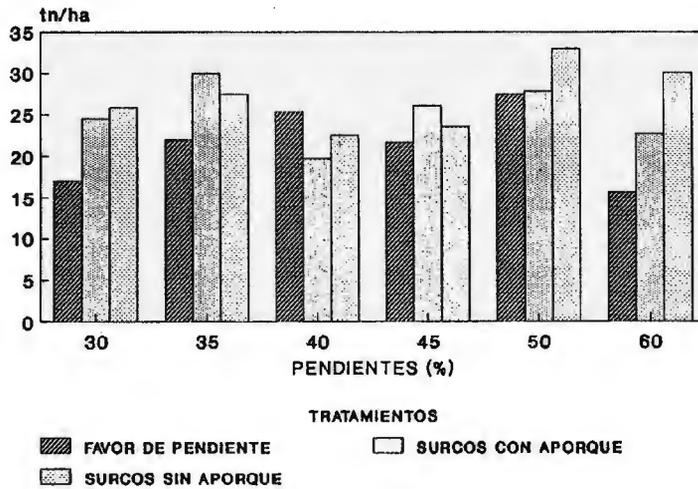
En el Cuadro N°15, se muestran los valores de los rendimientos obtenidos en camote en los tratamientos respectivos, los cuales pueden observarse en el Gráfico N°7.

**Cuadro N° 15**                      **Rendimiento total (tn/ha)**

Tratamiento	Pendiente (%)					
	30	35	40	45	50	60
Surcos a favor de la pendiente	17,10	21,95	25,35	21,70	27,45	15,65
Surcos en contorno con aporque	24,50	29,95	19,70	26,05	27,80	22,70
Surcos en contorno sin aporque	25,80	27,50	22,50	23,55	33,00	30,05

Gráfico Nº 7

Rendimiento total (tn/ha)



En cuanto a la variación de los rendimientos para los diferentes tratamientos se encuentra que:

- En los surcos a favor de la máxima pendiente varió entre 15,65 tn/ha para la pendiente de 60% y 27,45 tn/ha para la de 50%.
- En los surcos en contorno con aporque varió entre 19,7 tn/ha para la pendiente de 40% y 29,95 tn/ha para la de 35%.
- En los surcos en contorno sin aporque varió entre 22,5 tn/ha para la pendiente de 40% y 33,0 tn/ha para la de 50%.

Estos resultados demuestran que la mayor producción se presenta en el tratamiento surcos en contorno sin aporque.

El terreno donde fue sembrado el camote es un suelo pobre (lo cual es indicado por la presencia del "quillo", pasto natural que crece en estos suelos), quedando demostrado con sus rendimientos que este cultivo puede desarrollarse en terrenos considerados pobres, siempre que las condiciones de clima y manejo sean las apropiadas.

La producción de camote ha sido obtenida en un período de cinco meses con rendimientos bastante altos en todos los casos, en relación al promedio nacional que es de 11 tn/ha y al promedio de la selva que es de 6 tn/ha, lo cual puede deberse a que el cultivo fue abonado y que se desarrolló en su medio climático.

Este cultivo por su buen desarrollo foliar brinda al suelo una adecuada protección contra la acción erosiva de las lluvias presentando una gran adaptabilidad y un buen desarrollo, respondiendo favorablemente a la aplicación de prácticas de conservación, lo que se destaca en el incremento de su producción.

En cuanto al porcentaje del rendimiento comercial con respecto al rendimiento total, es muy similar para todos los casos, lo cual se aprecia en el Cuadro N°16 y en el Gráfico N°8.

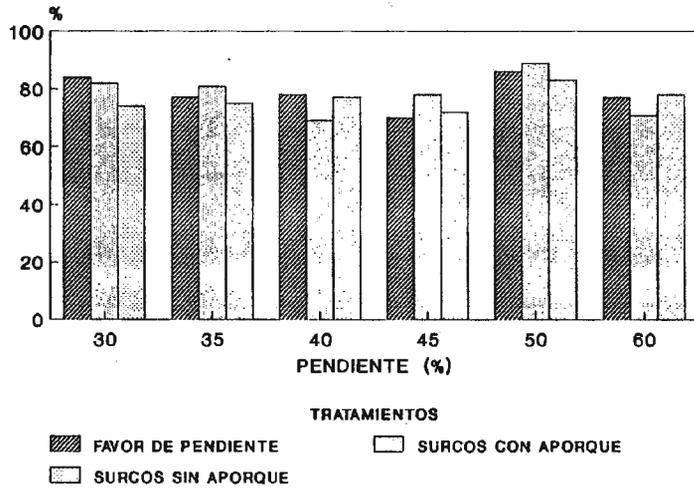
Se puede observar que la mayor variación se dió en el tratamiento surcos en contorno con aporque, donde se presentó con un 69% para la pendiente de 40% y con 89% para la pendiente de 50%.

La pendiente que presentó el mayor rendimiento acumulado y el mayor porcentaje comercial en todos sus tratamientos, con respecto al resto de pendientes, es la de 50%, siendo a su vez la pendiente que presentó la menor escorrentía acumulada y la menor erosión acumulada en todos sus tratamientos.

**Cuadro Nº 16 Rendimiento comercial y no comercial total (tn/ha)**

Pendiente (%)	Tratamientos					
	Surcos a favor de la pendiente		Surcos en contorno con aporque		Surcos en contorno sin aporque	
	Comercial	No comercial	Comercial	No comercial	Comercial	No comercial
30	14,30	2,80	20,00	4,50	19,10	6,70
35	16,85	5,10	24,25	5,70	20,60	6,90
40	19,70	5,65	13,60	6,10	17,40	5,10
45	15,25	6,45	20,30	5,75	16,85	6,70
50	23,60	3,85	24,85	2,95	27,50	5,50
60	12,10	3,55	16,15	6,55	23,35	6,70

**Gráfico Nº 8 Rendimiento comercial (%)**



La cosecha del camote, especialmente en laderas, ocasiona un gran movimiento de tierra y de no realizarse cuidadosamente, expone al suelo a la acción erosiva del viento y del agua, por lo cual se requiere protegerlo adecuadamente.

Para el presente estudio, se programó la siembra al inicio de la época de lluvias (Enero), donde el cultivo requiere mayor cantidad de agua, haciendo coincidir la cosecha con la época seca.

Al momento de la cosecha (Junio) era mayor el peligro a la erosión eólica que a la erosión hídrica. Para contrarrestar este efecto, una vez finalizada la cosecha, se procedió a cubrir cada parcela con el follaje del propio cultivo, protegiendo así el suelo del efecto del viento y de una eventual lluvia.

#### **4.5 PERDIDA DE NUTRIENTES**

Las pérdidas de materia orgánica y nutrientes en el sedimento erosionado y en el agua de escorrentía es alta y ésta puede ser una de las principales causas de la disminución de la fertilidad natural de los suelos tropicales, donde no se adoptan medidas adecuadas de control de erosión.

##### **4.5.1 En el suelo erosionado**

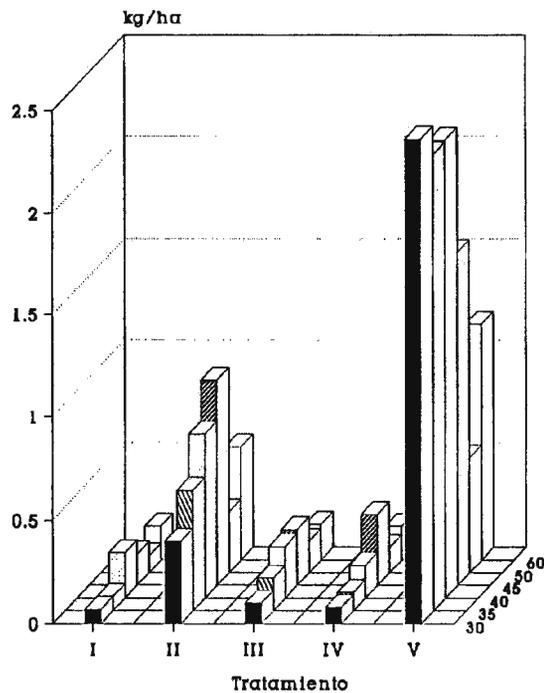
En el Anexo N°5, se muestran las pérdidas de materia orgánica y de nutrientes en el suelo erosionado, para los diferentes tratamientos y pendientes.

Estas pérdidas son proporcionales al total de suelo perdido en cada una de las parcela y a la concentración de dichos nutrientes en el suelo erosionado.

En el suelo erosionado, los valores de las pérdidas de nutrientes fueron menores que en el agua de escorrentía.

En el Gráfico N°9, se puede observar que el tratamiento que perdió más nutrientes en el suelo erosionado, fue el tratamiento suelo desnudo. Este tratamiento, produjo las mayores pérdidas de agua y de suelo, por estar sometido a la acción directa del impacto de las gotas de lluvia, encontrándose las partículas del suelo, junto con la materia orgánica y nutrientes, susceptibles al arrastre por el agua de escorrentía.

**Gráfico N° 9** Pérdida total de nutrientes en el suelo erosionado (kg/ha)



Los tratamientos vegetación natural, surcos en contorno con aporque y surcos en contorno sin aporque, fueron los tratamientos que ocasionaron la menor pérdida de nutrientes en el suelo erosionado.

La pérdida de Fósforo (kg/ha) osciló, para el tratamiento vegetación natural, entre 0,004 kg/ha (pendiente 30%) y 0,01 kg/ha (pendiente 40%); para el tratamiento surcos a favor de la máxima pendiente, entre 0,015 kg/ha (pendiente 50%) y 0,040 kg/ha (pendiente 60%). En el tratamiento surcos en contorno con aporque, esta pérdida varió entre 0,005 kg/ha (pendiente 30%) y 0,012 kg/ha (pendiente 40%); para el tratamiento surcos en contorno sin aporque esta variación fue de 0,004 kg/ha (pendiente 30%) y 0,013 kg/ha (pendiente 45%) y para el tratamiento suelo desnudo, varió entre 0,044 kg/ha (pendiente 50%) y 0,191 kg/ha (pendiente 40%).

La variación de la pérdida de Aluminio (kg/ha) en el suelo erosionado fue mayor, oscilando, para el tratamiento vegetación natural, entre 0,012 kg/ha (pendiente 50%) y 0,116 kg/ha (pendiente 40%); para el tratamiento surcos a favor de la máxima pendiente, entre 0,069 kg/ha (pendiente 50%) y 0,612 kg/ha (pendiente 45%). En el tratamiento surcos en contorno con aporque, esta pérdida varió entre 0,02 kg/ha (pendiente 50%) y 0,15 kg/ha (pendiente 45%); para el tratamiento surcos en contorno sin aporque esta variación fue de 0,017 kg/ha (pendiente 50%) y 0,20 kg/ha (pendiente 45%) y para el tratamiento suelo desnudo, varió entre 0,067 kg/ha (pendiente 50%) y 0,67 kg/ha (pendiente 30%).

La pérdida de Potasio (kg/ha) varió, entre 0,042 kg/ha (pendiente 30%) y 0,124 kg/ha (pendiente 60%), para el tratamiento vegetación natural y para el tratamiento surcos a favor de la máxima pendiente, entre 0,205 kg/ha (pendiente 50%) y 0,476 kg/ha (pendiente 40%). En el tratamiento surcos en contorno con aporque, esta pérdida varió entre 0,056 kg/ha (pendiente 30%) y 0,124 kg/ha (pendiente 60%); para el tratamiento surcos

en contorno sin aporque esta variación fue de 0,043 kg/ha (pendiente 30%) y 0,129 kg/ha (pendiente 45%) y para el tratamiento suelo desnudo, varió entre 0,438 kg/ha (pendiente 50%) y 1,573 kg/ha (pendiente 35%).

La pérdida de materia orgánica, en el suelo erosionado (kg/ha), fue mucho mayor que la pérdida de los nutrientes. Esta pérdida varió, entre 8,84 kg/ha (pendiente 30%) y 27,05 kg/ha (pendiente 40%), para el tratamiento vegetación natural y para el tratamiento surcos a favor de la máxima pendiente, entre 28,55 kg/ha (pendiente 50%) y 111,38 kg/ha (pendiente 45%). En el tratamiento surcos en contorno con aporque, esta pérdida varió entre 11,23 kg/ha (pendiente 30%) y 33,25 kg/ha (pendiente 45%); para el tratamiento surcos en contorno sin aporque esta variación fue de 8,80 kg/ha (pendiente 30%) y 34,30 kg/ha (pendiente 45%) y para el tratamiento suelo desnudo, varió entre 100,81 kg/ha (pendiente 50%) y 367,68 kg/ha (pendiente 40%).

Comparando la pérdida de materia orgánica y nutrientes, entre los tratamientos evaluados, se encuentra que muestran la siguiente tendencia: suelo desnudo > surcos a favor de la máxima pendiente > surcos en contorno con aporque > surcos en contorno sin aporque > vegetación natural.

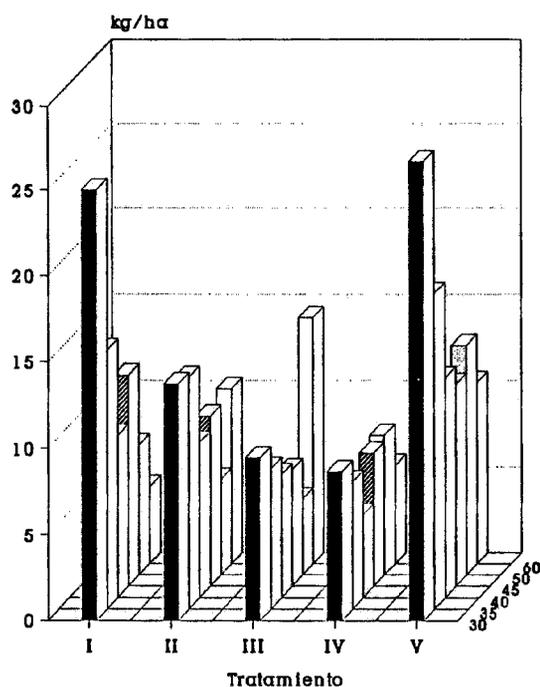
#### **4.5.2 En el agua de escorrentía**

En el Anexo N<sup>o</sup>5, se muestran las pérdidas de nutrientes en el agua de escorrentía, para los diferentes tratamientos y pendientes.

Estas pérdidas son proporcionales a la escorrentía total ocurrida para cada parcela y a la concentración de dichos nutrientes en el agua de escorrentía.

En el Gráfico N°10, se puede observar que la pérdida total de nutrientes en el agua de escorrentía, fue mayor en la pendiente 30%, debido a que fue esta pendiente la que nos presentó la mayor escorrentía. La menor pérdida se presentó en la pendiente 50%.

**Gráfico N° 10 Pérdida total de nutrientes en el agua de escorrentía (kg/ha)**



El tratamiento que perdió más nutrientes, fue el tratamiento suelo desnudo. Los dos tratamientos surcos en contorno, fueron los tratamientos que ocasionaron la menor pérdida de nutrientes en el agua de escorrentía.

La pérdida de Calcio (kg/ha) osciló, para el tratamiento vegetación natural, entre 1,67 kg/ha (pendiente 60%) y 7,61 kg/ha (pendiente 30%); para el tratamiento surcos a favor de la máxima pendiente, entre 1,88 kg/ha

(pendiente 50%) y 6,51 kg/ha (pendiente 30%). En el tratamiento surcos en contorno con aporque, esta pérdida varió entre 1,86 kg/ha (pendiente 50%) y 7,31 kg/ha (pendiente 60%); para el tratamiento surcos en contorno sin aporque esta variación fue de 2,54 kg/ha (pendiente 45%) y 4,84 kg/ha (pendiente 30%) y para el tratamiento suelo desnudo, varió entre 4,14 kg/ha (pendiente 60%) y 11,34 kg/ha (pendiente 30%).

La variación de la pérdida de Magnesio (kg/ha) en el agua de escorrentía fue mucho menor, oscilando, para el tratamiento vegetación natural, entre 0,68 kg/ha (pendiente 60%) y 2,57 kg/ha (pendiente 30%); para el tratamiento surcos a favor de la máxima pendiente, entre 0,61 kg/ha (pendiente 45%) y 1,44 kg/ha (pendiente 30%). En el tratamiento surcos en contorno con aporque, esta pérdida varió entre 0,66 kg/ha (pendiente 45%) y 2,22 kg/ha (pendiente 60%); para el tratamiento surcos en contorno sin aporque esta variación fue de 0,61 kg/ha (pendiente 40%) y 1,54 kg/ha (pendiente 45%) y para el tratamiento suelo desnudo, varió entre 1,24 kg/ha (pendiente 35%) y 3,06 kg/ha (pendiente 30%).

La pérdida de Potasio (kg/ha) varió, entre 2,17 kg/ha (pendiente 60%) y 14,84 kg/ha (pendiente 30%), para el tratamiento vegetación natural y para el tratamiento surcos a favor de la máxima pendiente, entre 2,74 kg/ha (pendiente 50%) y 6,99 kg/ha (pendiente 35%). En el tratamiento surcos en contorno con aporque, esta pérdida varió entre 1,61 kg/ha (pendiente 50%) y 4,75 kg/ha (pendiente 60%); para el tratamiento surcos en contorno sin aporque esta variación fue de 1,47 kg/ha (pendiente 40%) y 3,71 kg/ha (pendiente 45%) y para el tratamiento suelo desnudo, varió entre 3,78 kg/ha (pendiente 50%) y 12,29 kg/ha (pendiente 30%).

#### 4.6 ANALISIS DE REGRESION MULTIPLE

Para cada tratamiento evaluado se realizó el análisis de regresión múltiple, utilizando el programa Minitab, el cual permitió seleccionar, luego de muchas pruebas, una ecuación para estimar la pérdida de suelo (g), en función de la escorrentía (l), cantidad de lluvia precipitada (mm), cobertura vegetal (%) y pendiente del terreno (%). (Anexo N°6)

La expresión matemática obtenida es:

$$\text{Log E} = a + b \text{Log Es} + c \text{Log La} + d \text{Log Co} + e \text{Log P}$$

donde:

E = pérdida de suelo (g)

Es = escorrentía (l)

La = cantidad de lluvia precipitada (mm)

Co = cobertura vegetal (%)

P = pendiente del terreno (%)

a,b,c,d,e = constantes

Esta ecuación se seleccionó en base a la buena estimación de la pérdida de suelo ( $R^2 = 65\%$ ), para la zona de estudio y por la facilidad de determinación de las variables incluidas en ella.

## V CONCLUSIONES

De los resultados obtenidos, donde se probaron cinco tratamientos en seis pendientes diferentes, resaltan las siguientes conclusiones:

- . Las tierras del Valle de Chanchamayo están sufriendo una pérdida acelerada de su capacidad productiva por efectos de la erosión hídrica, bajo el sistema de uso actual (en sentido de la pendiente).
- . El cultivo de camote utilizado como cobertura vegetal, por su buen desarrollo foliar, reduce marcadamente las pérdidas de suelo y de agua ocasionados por la acción erosiva de las lluvias, en la medida en que incrementa la protección del suelo. La eficiencia de esta cobertura en reducir las pérdidas de suelo por erosión es mayor que la eficiencia mostrada en la reducción de las pérdidas de agua.
- . Los valores de erosión y de escorrentía registrados en los tratamientos con cobertura fueron moderados, sin superar el valor tolerable de pérdida de suelo (12 tn/ha).
- . No se estableció relación estrecha entre la escorrentía superficial y la pérdida de suelo, con la variación de la pendiente, como asegura la bibliografía, debido a que no se presentaron condiciones similares del factor suelo para las diferentes pendientes..
- . Todos los tratamientos redujeron las pérdidas de suelo y de agua, con respecto al tratamiento suelo desnudo, pero las más eficientes, considerando la rentabilidad del producto, fueron los dos tratamientos surcos en contorno.

- La cantidad de suelo perdido (tn/ha) presentó los valores más bajos en el tratamiento surcos en contorno sin aporque, fluctuando entre 0,55 tn/ha (pendiente 50%) y 1,58 tn/ha (pendiente 45%), los cuales, comparados con los obtenidos en el tratamiento suelo desnudo, redujeron la pérdida de suelo en 82% y 80%, respectivamente.
- Los valores obtenidos para la escorrentía superficial (% de lluvia) fueron menores en el tratamiento surcos en contorno sin aporque, variando entre 2,28% (pendiente 50%) y 3,10% (pendiente 45%), los cuales redujeron la escorrentía en 52% y 47%, respectivamente, comparado con los obtenidos en el tratamiento suelo desnudo.
- Los tratamientos surcos en contorno con y sin aporque, resultaron ser muy eficientes, siendo la mejor opción para la siembra del cultivo de camote en la zona de estudio.
- La vegetación natural es más eficiente en reducir las pérdidas de suelo que la escorrentía superficial, especialmente en etapas de desarrollo avanzado.
- El tratamiento con cobertura que ocasionó la mayor pérdida de agua y suelo fue el tratamiento surcos a favor de la máxima pendiente, cuyos valores oscilaron entre 2,31 % (pendiente 50%) y 5,72% (pendiente 30%), para la escorrentía y entre 1,82 tn/ha (pendiente 50%) y 4,01 tn/ha (pendiente 45%), para la pérdida de suelo.
- Se observó que a mayor pendiente es menor la diferencia de la escorrentía acumulada entre los tratamientos considerados.

- Los rendimientos obtenidos de camote, bajo condiciones de manejo agronómico apropiados, son bastante altos para todos los tratamientos y pendientes, en relación al promedio nacional, fluctuando estos valores entre 15,65 tn/ha para el tratamiento surcos a favor de la máxima pendiente (pendiente 60%) y 33,00 tn/ha para el tratamiento surcos en contorno sin aporque (pendiente 50%).
- La pérdida de nutrientes en el agua de escorrentía y en el suelo erosionado estuvo en relación directa con la concentración de dichos nutrientes en el agua y en el suelo así como con la cantidad de escorrentía y erosión registrada.
- En el suelo erosionado, los valores de las pérdidas de nutrientes fueron menores que en el agua de escorrentía. La pérdida de fósforo varió entre 0,004 kg/ha, para el tratamiento vegetación natural (pendiente 30%) y 0,19 kg/ha, en la pendiente 40%, para el tratamiento suelo desnudo. La pérdida de aluminio varió entre 0,012 kg/ha y 0,67 kg/ha, para el tratamiento vegetación natural (pendiente 50%) y para el tratamiento suelo desnudo (pendiente 30%).
- La pérdida de potasio, en el agua de escorrentía, varió entre 1,47 kg/ha, para el tratamiento surcos en contorno sin aporque (pendiente 40%) y 14,84 kg/ha, en la pendiente 30%, para el tratamiento vegetación natural. En el suelo erosionado, la pérdida de este nutriente varió entre 0,042 kg/ha y 1,57 kg/ha, para el tratamiento vegetación natural (pendiente 30%) y para el tratamiento suelo desnudo (pendiente 35%), respectivamente.
- En el agua de escorrentía, la pérdida de calcio osciló entre 1,67 kg/ha, para el tratamiento vegetación natural (pendiente 60%) y 11,34 kg/ha, en la pendiente 30%, para el tratamiento suelo desnudo. La pérdida de

magnesio varió entre 0,61 kg/ha y 3,06 kg/ha, para el tratamiento surcos en contorno sin aporque (pendiente 40%) y para el tratamiento suelo desnudo (pendiente 30%).

- La pérdida de materia orgánica, en el suelo erosionado, varió entre 8,80 kg/ha y 367,68 kg/ha, para el tratamiento surcos en contorno sin aporque (pendiente 30%) y para el tratamiento suelo desnudo (pendiente 40%), respectivamente.
- Para estudios en la zona, la pérdida de suelo puede estimarse a través de una ecuación de regresión, como función de los logaritmos de los siguientes factores: escorrentía, cantidad de lluvia precipitada, cobertura vegetal y pendiente del terreno. Esta ecuación explica, en promedio, el 62 por ciento de la variación de los valores de pérdida de suelo.

## VI RECOMENDACIONES

- . Es necesario realizar una mayor investigación en los aspectos de conservación de suelos en diferentes lugares del país, incluyendo otras prácticas y considerando otros cultivos, con énfasis en evaluación de los riesgos de erosión hídrica y las medidas para su control.
- . Continuar las investigaciones en este campo, ya que la implementación de sistemas de labranza puede ser un factor importante en la defensa de los suelos contra la erosión, requiriéndose de estudios interdisciplinarios, que incluyan: mecanización, protección vegetal, manejo de suelos, climatología y manejo agronómico de los cultivos.
- . Programar la siembra del cultivo de camote, teniendo en cuenta su período vegetativo, al inicio de la época de lluvias y hacer coincidir la cosecha con la época seca, tomando las medidas necesarias para proteger el suelo del peligro de la erosión eólica.
- . Realizar las pruebas de erosión bajo condiciones de lluvia simulada, puesto que la variación en las características de los eventos naturales es alta y no permite controlar todos los factores evaluados.
- . Utilizar, en la medida de las posibilidades, una mayor cantidad de muestras en cada uno de los tratamientos, con el fin de obtener un modelo de estimación de pérdidas de suelo y de agua, por erosión, más preciso y su posterior validación en comparación con modelos ya establecidos.

## VII BIBLIOGRAFIA

- ALEGRE, J.C. "Medida de la erosión hídrica de un entisol de la selva alta (San Ramón-Chanchamayo), bajo diferentes sistemas de cultivo". Tesis Mag. Sc. Universidad Nacional Agraria, La Molina. Lima-Perú. 1979. 106 p.
- ARCA, M. "El suelo y la planta". Biblioteca Agropecuaria del Perú. Lima. 1984. 60 p.
- BAVER, L. et al. "Física de suelos". México. Uthea. 1973. 529 p.
- BENNETT, H. "Elementos de conservación de suelos". Fondo de Cultura Económica. México. 1965. 427 p.
- BERTONI, J. "Conservacao do solo em pastozem". Instituto Agronómico de Campinas. Sección de conservación de Suelos. Sao Paulo-Brasil. 1960.
- BONILLA, A. "Evaluación de la erosión en parcelas de escorrentía con lluvia artificial utilizando la rotación de cultivo maíz-sorgo". Tesis Ing. Agrícola. Universidad Nacional Agraria, La Molina. Lima-Perú. 1990. 70p.
- CONTRERAS, J. "El cultivo del camote en el Estado de Veracruz". Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. Veracruz-México. Folleto para productores N°2. 1980.
- CHILON, E. "Uso racional de laderas, recuperación de andenes y otras medidas de conservación de suelos en la comunidad de San Pedro de Casta-Lima". Tesis Mag. Sc. Universidad Nacional Agraria, La Molina. Lima-Perú. 1988. 213 p.

- DOUROJEANNIE, A y PAULET, M. "La Ecuación Universal de Pérdida de Suelos, su aplicación al planeamiento del uso de las tierras agrícolas". Ed.UNA. Publicación N°2. Lima-Perú. 1967. 77p.
- ELLENBERG,H. "Desarrollar sin destruir. Respuesta de un Ecólogo a 15 preguntas de agrónomos y planificadores bolivianos". Instituto de Ecología. UMSA. La Paz. 1981. 55p.
- ELLISON, W.D. "Soil detachment by water in erosion process". Trans. Am. Geo. Un. 29(4): 499-502. 1948.
- FAO "Prácticas de plantaciones forestales en América latina". Roma. 1960. 499 p.
- FAO "La erosión del suelo por el agua". Roma. 1967. 207 p.
- FAO "Mantengamos viva la tierra, causas y remedios de la erosión del suelo". Roma. 1983. 89 p.
- FELIPE MORALES, C. et al. "Pérdida de agua y suelo bajo diferentes sistemas de cultivo en dos localidades peruanas: Santa Ana (Sierra Alta Central) y San Ramón (Selva Alta Central), durante la campaña agrícola 1975/1976". Universidad Nacional Agraria, La Molina. Dpto. de Suelos y Fertilizantes; Centro Internacional de la Papa (CIP). Dpto. de Fisiología Vegetal. Lima-Perú. 1977. 18p.
- FELIPE MORALES, C. "La erosión del suelo y su impacto en el desarrollo agrícola del Perú". Rev. Medio Ambiente N°7. Instituto de Desarrollo y Medio Ambiente (IDMA). Lima- Perú. Marzo, 1986.

- FOLQUER, F. "La batata (camote). Estudio de la planta y su producción comercial". Editorial Hemisferio Sur. 1978. 144p.
- FOURNIER, F. "Conservación de suelos". Editorial Mundi-Prensa. Madrid-España. 1975. 254 p.
- GALDO A, L. "Evaluación de escorrentía superficial y erosión hídrica, bajo diferentes tipos de cobertura vegetal (San Ramón-Chanchamayo)". Proyecto Peruano-Alemán. San Ramón-Perú. 1985. 140 p.
- GREENLAND, D.J.; LAL, R. "Soil conservation and management in the humid tropics". Ed. John Willey and Sons. Chichester-New York. 1977. 283 p.
- GUTIERREZ D, M. "Determinación del índice de erosividad de las lluvias y su relación con la cobertura vegetal, suelos y pendientes, para la Cuenca del Río Grande de Térraba, Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Universidad de Costa Rica. Costa Rica. 1990.
- HUDSON, N. "Conservación del suelo". Editorial Reverte. Barcelona-España. 1982. 335 p.
- KIRKBY, M.J. y MORGAN R.P.C. "Erosión de Suelos". Editorial Limusa. México. Primera Edición. 1984. 368 p.
- LA TORRE, B. "Efecto de sistemas de cultivo sobre la escorrentía, erosión y pérdida de suelo en un entisol de selva alta - CAP José Santos Atahualpa, San Ramón - Chanchamayo". Tesis Ing. y Mag. Sc. Universidad Nacional Agraria, La Molina. Lima- Perú. 1985. 136 p.

- LAL, R. "Soil erosion problems on an alfisol in Western Nigeria and their control". Ibadan-Nigeria. IITA. 1976. 160 p.
- LAL, R. "Soil erosion from tropical arable lands and its control". New York. Academic Press. 1984. V. 37. pp 183-248.
- LOW, F. y PAULET, M. "Control de la erosión por el Agua". Universidad Nacional Agraria, La Molina. Fac. de Ing. Agrícola. Lima-Perú. 1967. 74 p.
- LYLES, L.L.; DISRUE, A. and WOODRUFF, N.P. "Effect of Soil Physical properties rainfall characteristics and wind velocity on clod desintegration by simulated rainfall". Soil Sen. Am. Proc. 33: 302-306. 1969.
- MAMANI, O. "Evaluación de la erosión hídrica en parcelas de escorrentía bajo condiciones controladas". Tesis Ing. Agrícola. Universidad Nacional Agraria, La Molina. Lima-Perú. 1990. 96 p.
- MEYER, L.D. "Methods for attaining desired rainfall characteristics in rainfall. Proceeding of the rainfall simulator workshop". Tucson-Arizona. Departament of Agricultural Science and Education Administratio Agricultural Reviews and Manuals. Arm. W 10/July. 1979. 35-45 p.
- MEYER, L.D. and HARMON, W.C. "Suceptibility of agricultural soil to interrill erosion". Soil Sci. Soc. Am. J. 48. 1152-1157 p. 1984.
- MONTALVO, A. "Manual del cultivo de la batata (Ipomoea batatas L.)". Universidad Central de Venezuela. Facultad de Agronomía. Maracay-Venezuela. 1966. 44p.

- NEAL, J.H. y BAVER, N. "The effect of the degree of slope and rainfall characteristics on run-off and soil erosion". Columbia. Missouri Agricultural Experiment Station. Research Bulletin N°280. 1938. 47 p.
- PAEZ, M.L. "La erosión hídrica, diagnóstico y control". Facultad de Agronomía. Universidad Central de Venezuela. Maracay. Alcance N°37. 1989. 139 p.
- PAULET, M. "Investigaciones en la conservación del suelo y del agua con el simulador de lluvia". Universidad Nacional Agraria, La Molina. Boletín. 1967.
- PAULET, M. "Determinación de la erodabilidad del suelo en función de algunas de sus propiedades". Dpto. de Conservación de Suelos. Universidad Nacional Agraria, La Molina. Lima. 1967. 14 p.
- PAULET, M. "Bases para la sustentación de una política de conservación de suelos en el Perú". Universidad Nacional Agraria, La Molina. Lima. 1968. 48 p.
- REBAZA, A. "Parcelas experimentales para la investigación del control de la erosión y escorrentía". Ministerio de Agricultura. Dirección General de Aguas. Boletín Técnico N°6. 1977. 16p.
- ROCHA F.A. "Algunos aspectos de la erosión, transporte y control de sedimentos en el Río Amarillo (China) aplicados a la realidad peruana". Lima. 1982. 22p.
- ROJAS, A. "Cultivo del camote (*Ipomoea batatas* L.). Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación. Dirección General de Servicios Agrícolas. Guatemala. 1982.

- SANCHEZ A.P. "Suelos tropicales, características y manejo". IICA. San José, Costa Rica. 1981. 634p.
- SUAREZ DE CASTRO, F. "Conservación de suelos". Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas. Costa Rica. Editorial IICA. 1979. 315p.
- SUAREZ DE CASTRO, F. Y RODRIGUEZ, G. "Investigaciones sobre la erosión y la conservación de los suelos en Colombia". Federación de Cafetaleros. Bogotá. 1962. 473 p.
- VASQUEZ, A. Y CHANG NAVARRO, L. "El riego". Universidad Nacional Agraria, La Molina. 1988.
- WISCHMEIER, W.H. "A rainfall erosion index for a Universal soil loss equation". Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 32: 246-249. 1959.
- WISCHMEIER, W.H. "Rainfall erosion potencial geographic and location differences of distribution". Agr. Eng. 43: 212-225. 1962." Predicting rainfall erosion losses. A guide to conservation planning. US Department of Agriculture, Agriculture Handbook Nº 537. 1978. 58p.
- WISCHMEIER, W.H. y SMITH, D.D. "Predicting rainfall erosion losses from cropland east of the Rocky Mountains. Washington. U.S Department of Agriculture. Agricultural Handbook 282. 1965. 47p.
- WISCHMEIER, W.H. y SMITH, D.D. "A Universal soil-loss equation to guide conservation farm planning. Trans. 7th International Cong. of Soil Sci.1: 418-425. 1961.

**ANEXOS**

**ANEXO Nº1**

**CARACTERISTICA FISICA DE LA  
INFILTRACION EN LOS SUELOS**

### Características físicas de la infiltración de los suelos

Zona de Influencia	Ecuaciones características (D, Ii, Ia)	Ib	Clasificación
Pendientes 30% - 35%	D = 0,48 T <sup>0,61</sup> Ii = 17,57 T <sup>-0,39</sup> Ia = 28,80 T <sup>-0,39</sup>	2,10	Moderada
Pendientes 40% - 45%	D = 0,14 T <sup>0,71</sup> Ii = 5,96 T <sup>-0,29</sup> Ia = 8,40 T <sup>-0,29</sup>	1,24	Moderadamente lenta
Pendiente 50%	D = 1,80 T <sup>0,74</sup> Ii = 79,92 T <sup>-0,26</sup> Ia = 108,0 T <sup>-0,26</sup>	21,50	Rápida
Pendiente 60%	D = 1,38 T <sup>0,68</sup> Ii = 56,30 T <sup>-0,32</sup> Ia = 82,79 T <sup>-0,32</sup>	10,47	Rápida

D = lámina infiltrada acumulada (cm)

Ii = velocidad de infiltración (cm/hr)

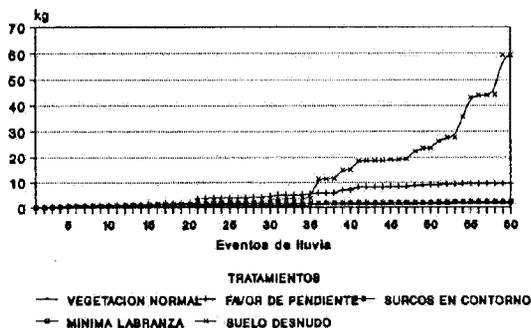
Ia = velocidad de infiltración promedio (cm/hr)

Ib = velocidad de infiltración básica (cm/hr)

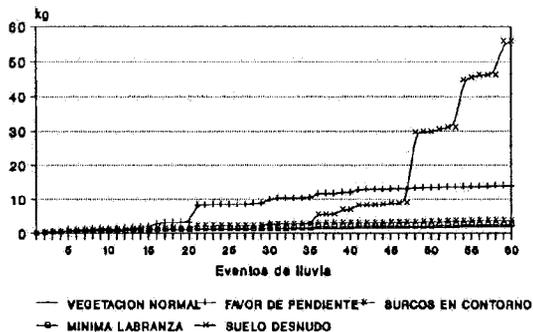
**ANEXO N°2**

**EROSION ACUMULADA Y  
ESCORRENTIA ACUMULADA**

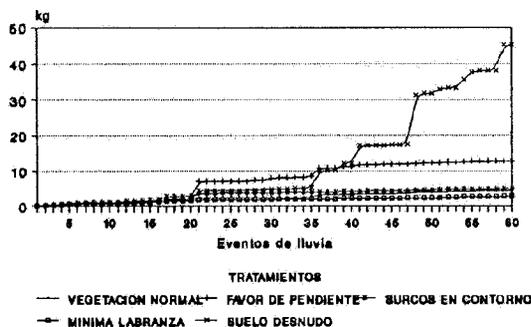
**EROSION ACUMULADA  
PENDIENTE: 30%**



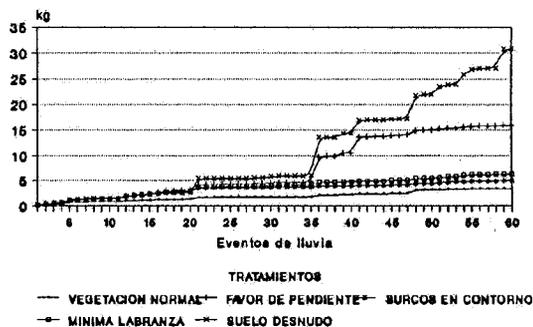
**EROSION ACUMULADA  
PENDIENTE: 35%**



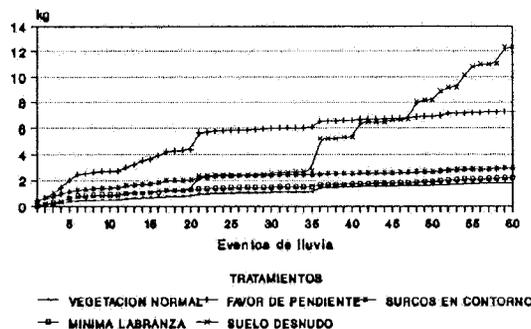
**EROSION ACUMULADA  
PENDIENTE: 40%**



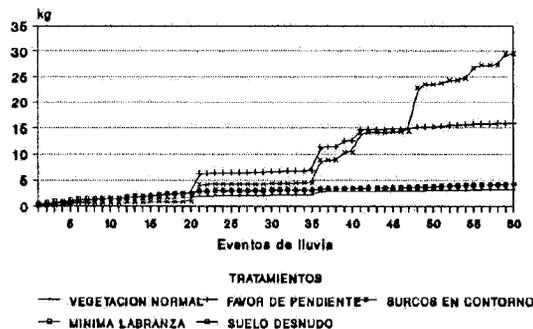
**EROSION ACUMULADA  
PENDIENTE: 45%**



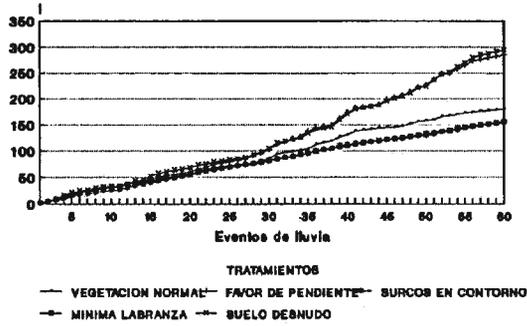
**EROSION ACUMULADA  
PENDIENTE: 50%**



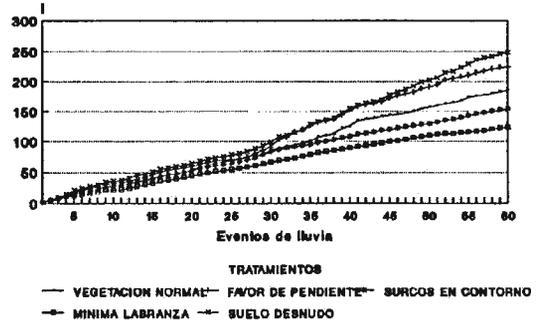
**EROSION ACUMULADA  
PENDIENTE: 60%**



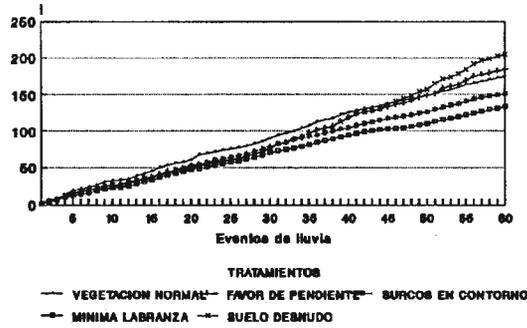
ESCORRENTIA ACUMULADA  
PENDIENTE: 30%



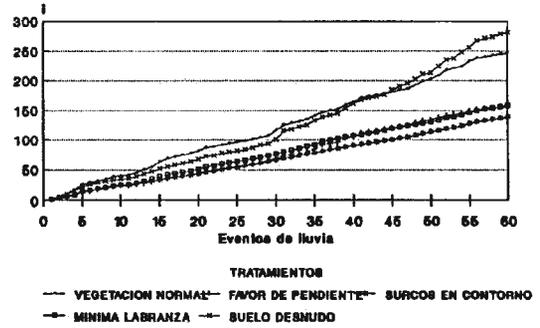
ESCORRENTIA ACUMULADA  
PENDIENTE: 35%



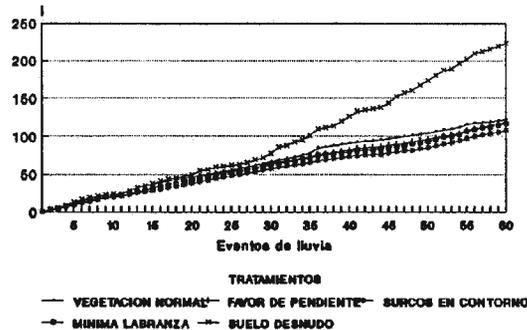
ESCORRENTIA ACUMULADA  
PENDIENTE: 40%



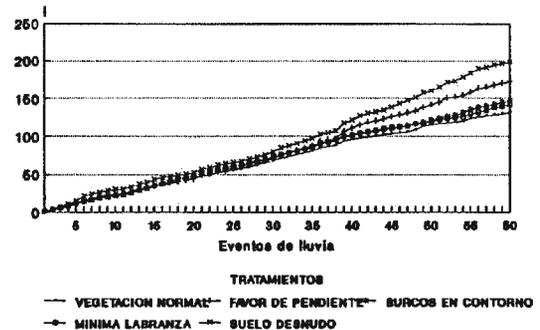
ESCORRENTIA ACUMULADA  
PENDIENTE: 45%



ESCORRENTIA ACUMULADA  
PENDIENTE: 50%



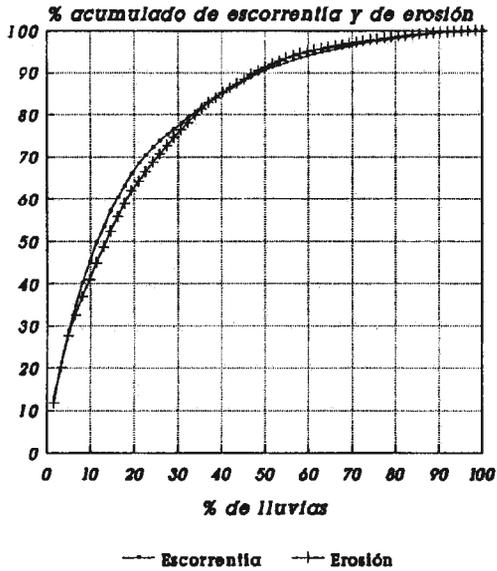
ESCORRENTIA ACUMULADA  
PENDIENTE: 60%



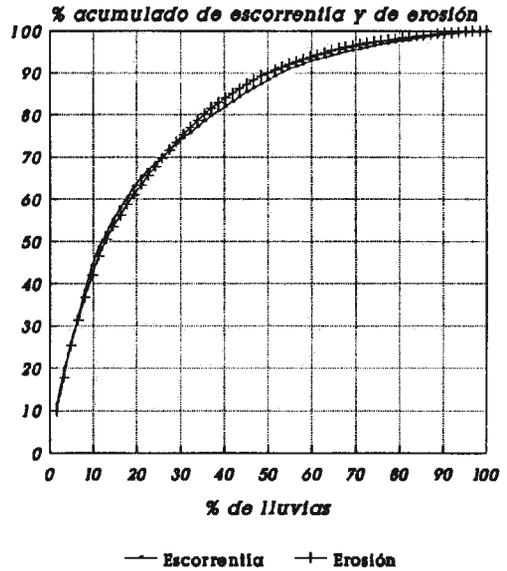
**ANEXO N°3**

**RELACION PORCENTUAL ENTRE LA  
ESCORRENTIA Y LA PERDIDA DE  
SUELO ACUMULADOS, CON EL  
NUMERO DE EVENTOS DE LLUVIA**

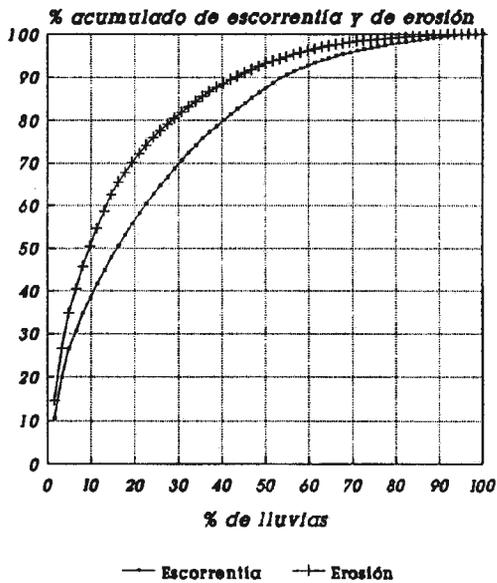
**Tratamiento: Vegetación Natural**  
**Pendiente : 30%**



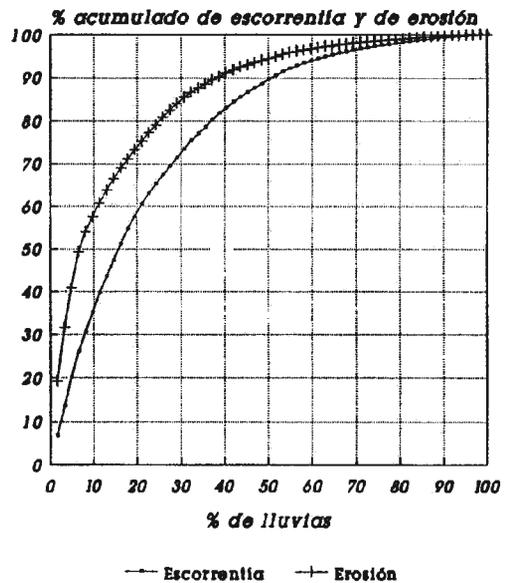
**Tratamiento: Vegetación Natural**  
**Pendiente : 35%**



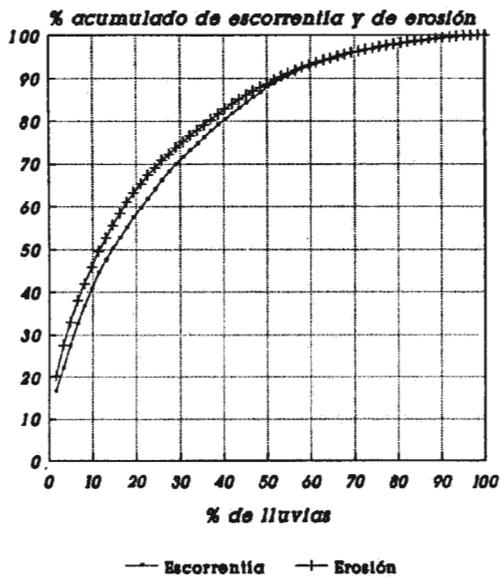
**Tratamiento: Vegetación Natural**  
**Pendiente : 40%**



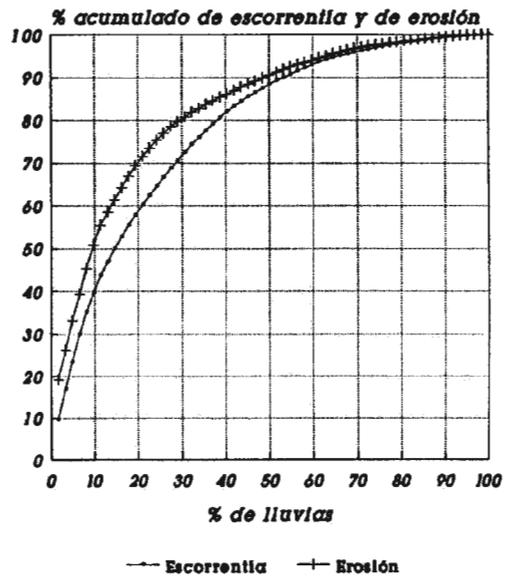
**Tratamiento: Vegetación Natural**  
**Pendiente : 45%**



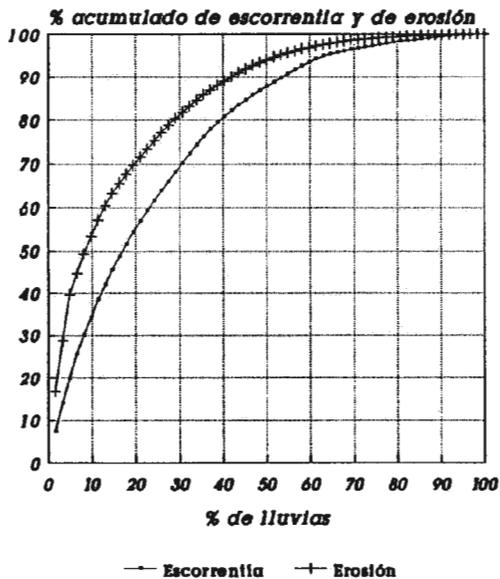
**Tratamiento: Vegetación Natural**  
**Pendiente : 50%**



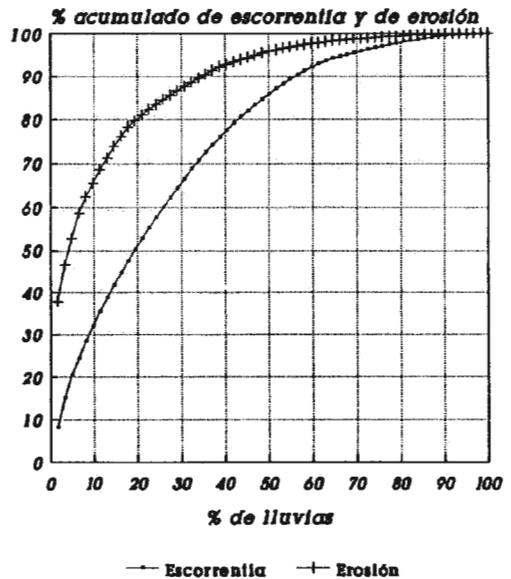
**Tratamiento: Vegetación Natural**  
**Pendiente : 60%**



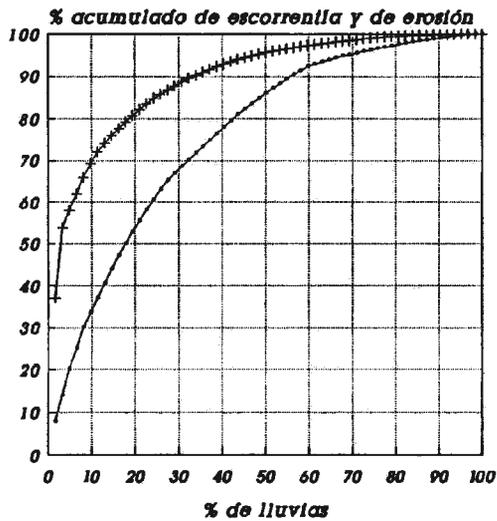
**Tratamiento: Favor de la Pendiente**  
**Pendiente : 30%**



**Tratamiento: Favor de la Pendiente**  
**Pendiente : 35%**

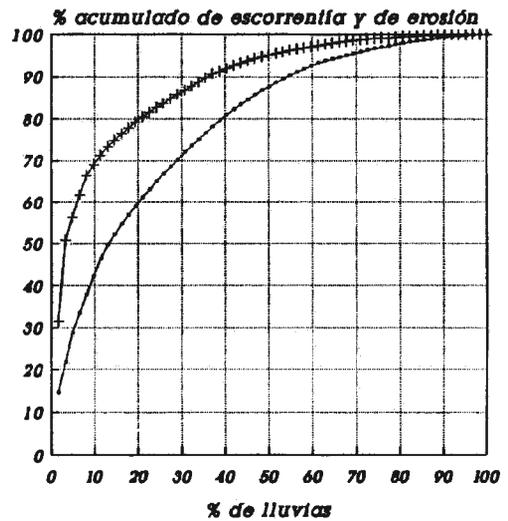


**Tratamiento: Favor de la Pendiente**  
**Pendiente : 40%**



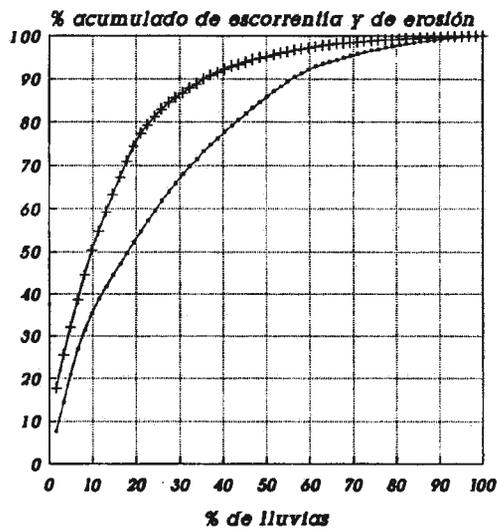
— Escorrentía    -+ Erosión

**Tratamiento: Favor de la Pendiente**  
**Pendiente : 45%**



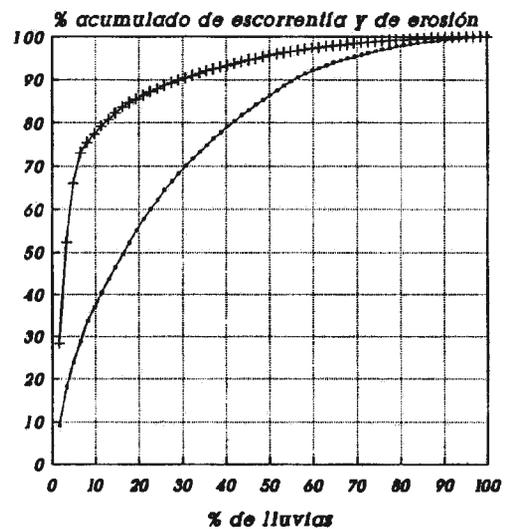
— Escorrentía    -+ Erosión

**Tratamiento: Favor de la Pendiente**  
**Pendiente : 50%**



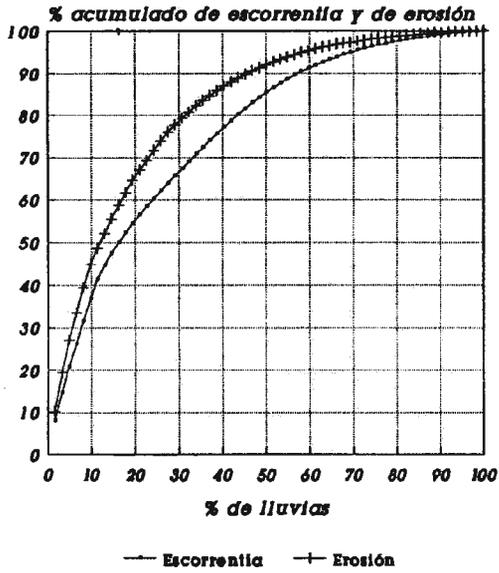
— Escorrentía    -+ Erosión

**Tratamiento: Favor de la Pendiente**  
**Pendiente : 60%**

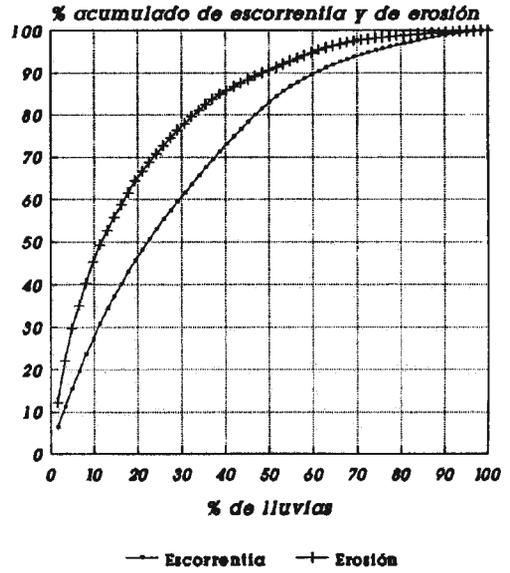


— Escorrentía    -+ Erosión

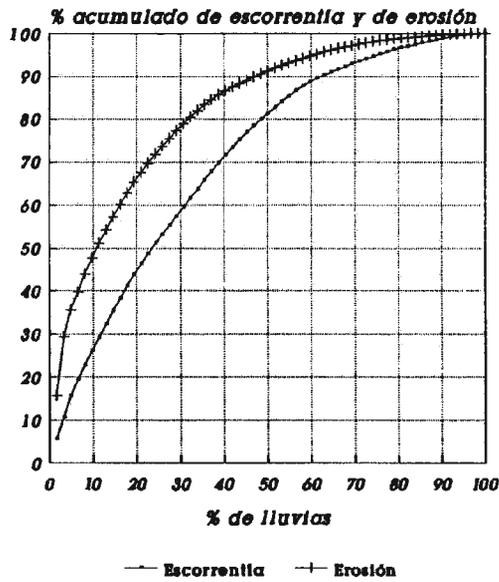
**Tratamiento: Surcos con Aporque**  
**Pendiente : 30%**



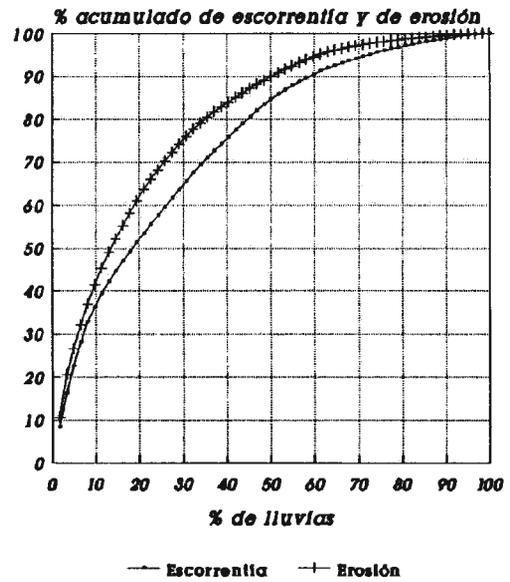
**Tratamiento: Surcos con Aporque**  
**Pendiente : 35%**



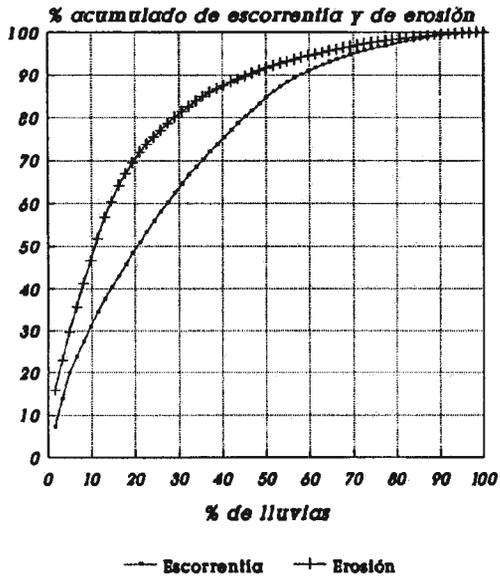
**Tratamiento: Surcos con Aporque**  
**Pendiente : 40%**



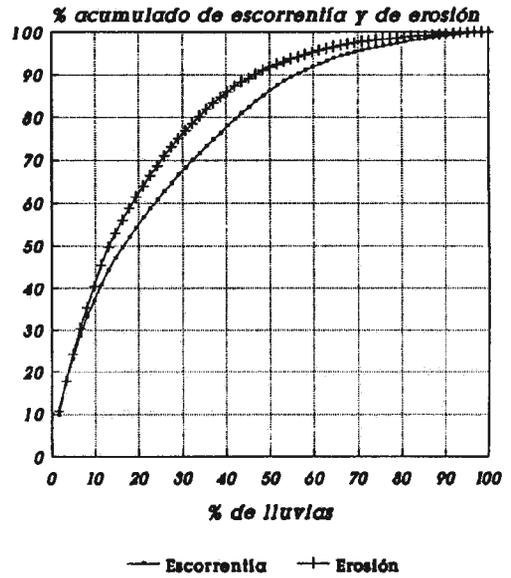
**Tratamiento: Surcos con Aporque**  
**Pendiente : 45%**



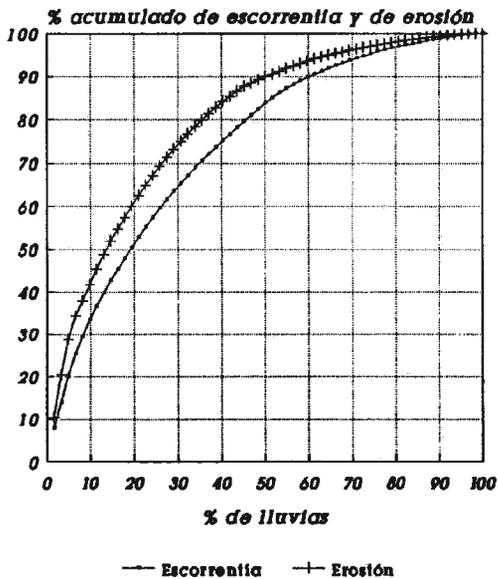
**Tratamiento: Surcos con Aporque**  
**Pendiente : 50%**



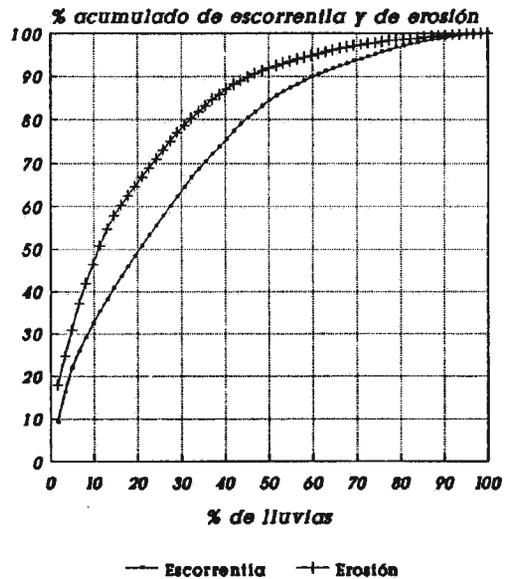
**Tratamiento: Surcos con Aporque**  
**Pendiente : 60%**



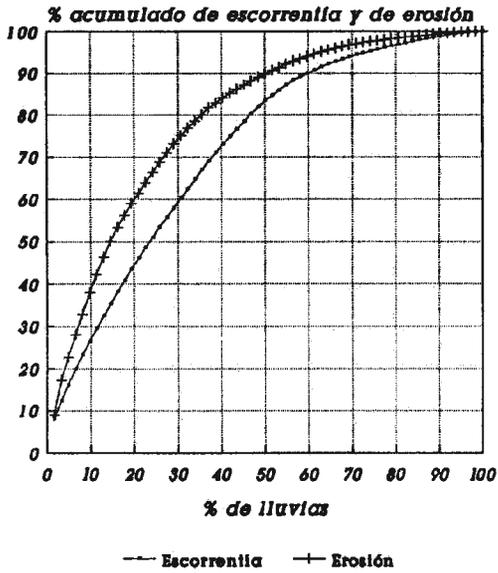
**Tratamiento: Surcos sin Aporque**  
**Pendiente : 30%**



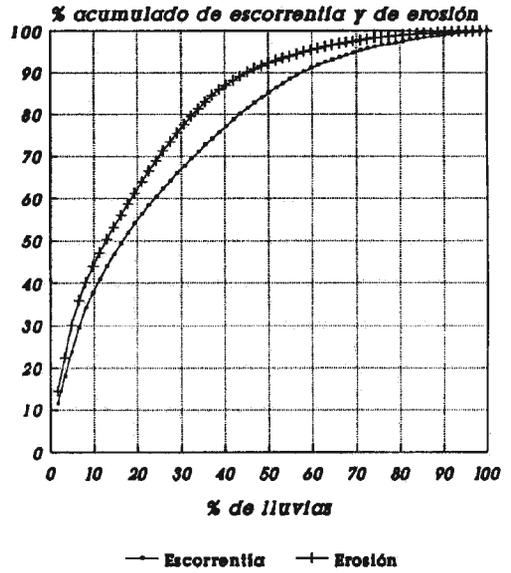
**Tratamiento: Surcos sin Aporque**  
**Pendiente : 35%**



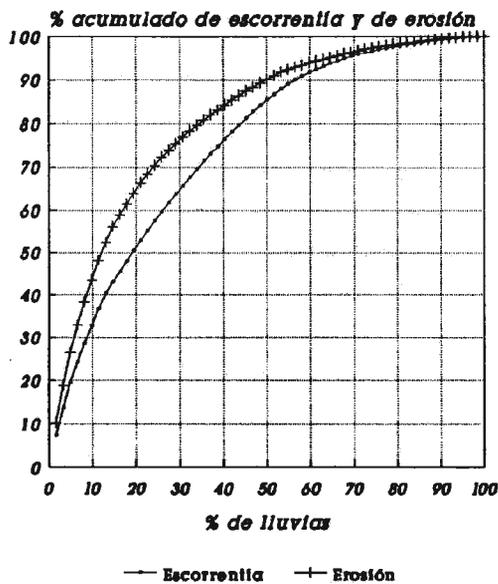
Tratamiento: Surcos sin Aporque  
Pendiente : 40%



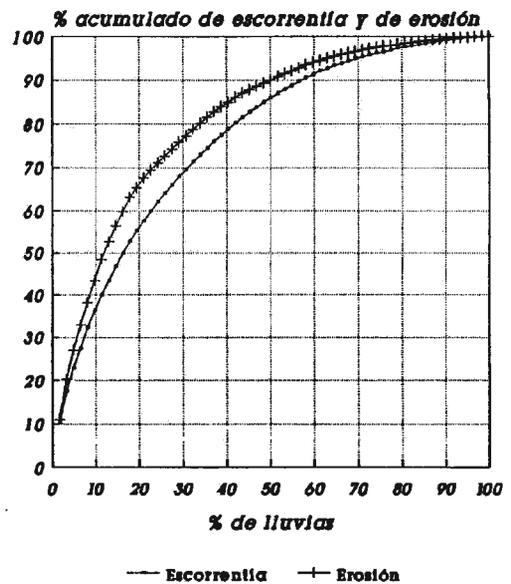
Tratamiento: Surcos sin Aporque  
Pendiente : 45%



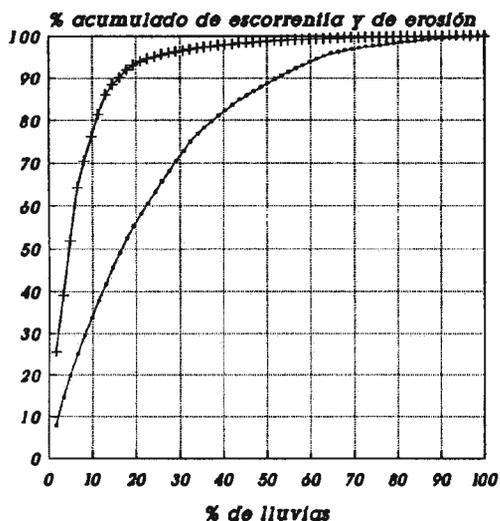
Tratamiento: Surcos sin Aporque  
Pendiente : 50%



Tratamiento: Surcos sin Aporque  
Pendiente : 60%

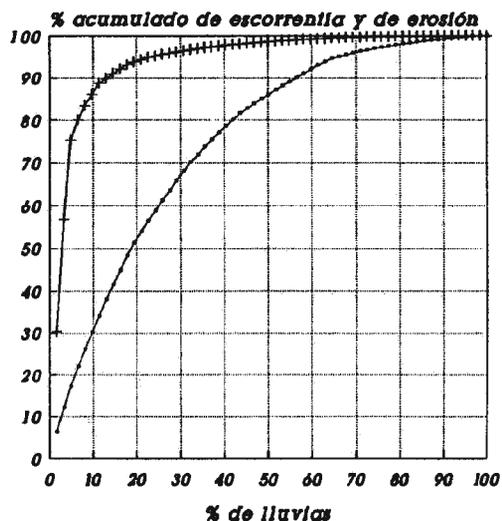


**Tratamiento: Suelo Desnudo**  
**Pendiente : 30%**



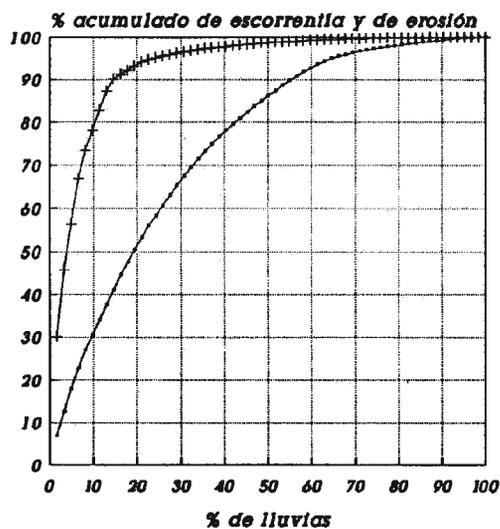
— Escorrentía + Erosión

**Tratamiento: Suelo Desnudo**  
**Pendiente : 35%**



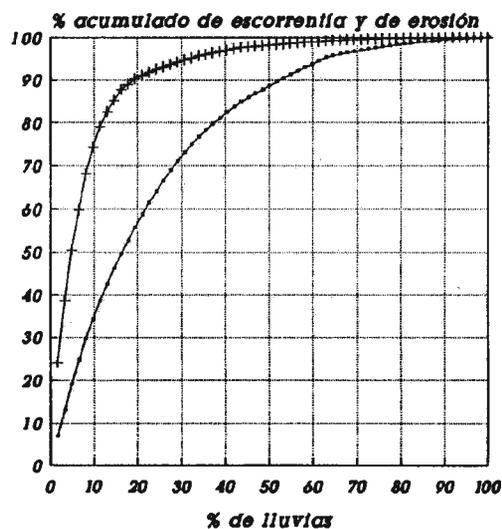
— Escorrentía + Erosión

**Tratamiento: Suelo Desnudo**  
**Pendiente : 40%**



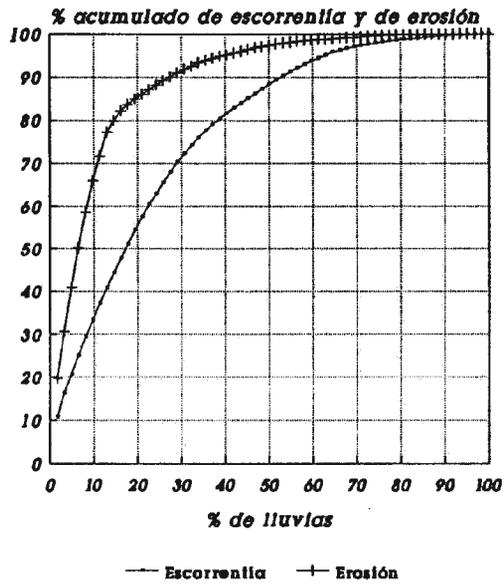
— Escorrentía + Erosión

**Tratamiento: Suelo Desnudo**  
**Pendiente : 45%**

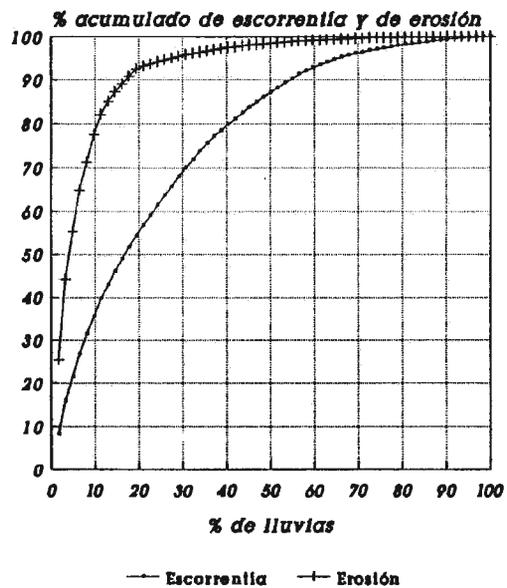


— Escorrentía + Erosión

*Tratamiento: Suelo Desnudo*  
*Pendiente : 50%*



*Tratamiento: Suelo Desnudo*  
*Pendiente : 60%*



**ANEXO N°4**

**INFORME DEL ANALISIS DE SUELOS  
EROSIONADOS Y DE AGUAS DE ESCORRENTIA**



# UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

"LA MOLINA"

FACULTAD DE AGRONOMIA - DPTO. SUELOS Y FERTILIZANTES

LABORATORIO DE ANALISIS

Tel. 35-2035 anexo 222. Apdo. 456 - La Molina. LIMA - PERU

## ANALISIS DE SUELOS

Procedencia:

Departamento JUNIN

Provincia CHANCHAMAYO

Distrito SAN RAMON

Predio \_\_\_\_\_

Solicitante C.I.P. - Rocío Pastor

Número Muestra		CE mmh/cm	Análisis Mecánico				pH	CO <sub>2</sub> -Ca o/o	MO o/o	N o/o	P ppm	K <sub>2</sub> O kg/ha	Cambiables					Al <sup>3+</sup> me/100g
Laboratorio	Campo		Arena o/o	Limo o/o	Arcilla o/o	Textura							ClC	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	
A																		
1	11	0.34						2.02		9.3	234						0.70	
2	12	0.26						2.17		12.1	244						0.50	
3	13	0.30						1.72		8.3	206						0.70	
4	14	0.20						1.57		7.4	187						0.64	
5	15	0.25						2.02		11.2	225						0.68	
6	111	0.29						2.02		9.3	225						0.50	
7	112	0.35						2.32		9.3	234						0.48	
8	113	0.26						2.17		10.2	253						0.64	
9	114	0.25						2.47		12.1	291						0.42	
10	115	0.24						2.47		9.3	263						0.54	
11	1111	0.28						3.23		16.8	310						0.56	
12	1112	0.30						2.93		11.2	357						0.96	

Observaciones:

La Molina, 23 de Enero de 1992

Fecha: .....

Firma



# UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

"LA MOLINA"

FACULTAD DE AGRONOMIA - DPTO. SUELOS Y FERTILIZANTES

LABORATORIO DE ANALISIS

Tel. 35-2035 anexo 222. Apdo. 456 - La Molina. LIMA - PERU

## ANALISIS DE SUELOS

Procedencia:

Departamento JUNIN

Provincia CHANCHAMAYO

Distrito SAN RAMON

Predio \_\_\_\_\_

Solicitante CIP - Rocío Pastor

Número Muestra		CE	Análisis Mecánico			pH	CO <sub>2</sub> Ca	MO	N	P	K <sub>2</sub> O	Cambiables					A13+ me/100g
Laboratorio	Campo		Arena	Limo	Arcilla							Textura	CIC	Ca**	Mg**	K*	
A		mmh/cm	o/o	o/o	o/o	o/o	o/o	o/o	ppm	kg/ha	me/100g.						
13	III 3	0.20				4.4	2.47		10.2	300							0.96
14	III 4	0.29				4.3	2.17		9.3	189							1.24
15	III 5	0.30				4.3	2.47		9.3	216							1.18
16	IV 1	0.30				4.1	2.78		8.3	206							1.70
17	IV 2	0.27				4.2	2.63		8.3	216							1.32
18	IV 3	0.33				4.4	3.08		12.1	281							0.90
19	IV 4	0.17				4.4	3.08		8.3	216							0.88
20	IV 5	0.26				4.2	2.17		8.3	197							1.40
21	V 1	0.26				5.1	2.02		11.2	413							0.34
22	V 2	0.38				5.1	3.23		14.0	338							0.24
23	V 3	0.38				5.1	2.17		11.2	310							0.30
24	V 4	0.38				5.3	1.72		10.2	394							0.30

Observaciones:

Fecha: La Molina, 23 de Enero de 1992

Firma



# UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

"LA MOLINA"

FACULTAD DE AGRONOMIA - DPTO. SUELOS Y FERTILIZANTES

LABORATORIO DE ANALISIS

Telf. 35-2035 anexo 222. Apdo. 456 - La Molina, LIMA - PERU

## ANALISIS DE SUELOS

Procedencia:

Departamento JUNIN

Provincia CHANCHAMAYO

Distrito SAN RAMON

Predio \_\_\_\_\_

Solicitante CIP. - Rocío Pastor

Número Muestra		CE mmh/cm	Análisis Mecánico				pH	CO <sub>2</sub> Ca o/o	MO o/o	N o/o	P ppm	K <sub>2</sub> O kg/ha	Cambiables					AL <sup>3+</sup> me/100g
Laboratorio	Campo		Arena	Limo	Arcilla	Textura							ClC	Ca**	Mg**	K*	Na*	
A			o/o	o/o	o/o													
25	V 5	0.32															0.42	
26	VI 1	0.34															0.38	
27	VI 2	0.28															0.42	
28	VI 3	0.32															0.39	
29	VI 4	0.28															0.28	
30	VI 5	0.33															0.24	

Observaciones:

La Molina, 23 de Enero de 1992

Firma



# UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

TELEFONO 35-2035-APDO. 456 - LA MOLINA LIMA PERU

## LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS Y PLANTAS

### INFORME DE ANALISIS

SOLICITANTE : C.I.P.- ROCIO PASTOR  
PROCEDENCIA : JUNIN - CHANCHAMAYO - SAN RAMON  
MUESTRA DE : AGUAS

No LAB.	CLAVE	pH	C. E. mmhos/cm	Ca	Mg	K
				-----meq/l-----		
1	I-1	6.2	0.20	0.90	0.50	0.90
2	I-2	5.3	0.20	0.90	0.40	0.50
3	I-3	5.1	0.21	0.60	0.50	0.30
4	I-4	5.0	0.13	0.80	0.40	0.20
5	I-5	4.9	0.10	0.55	0.20	0.25
6	II-1	5.0	0.13	0.80	0.30	0.30
7	II-2	5.0	0.11	0.90	0.20	0.40
8	II-3	4.8	0.10	0.60	0.20	0.40
9	II-4	4.8	0.10	0.50	0.20	0.60
10	II-5	4.8	0.10	0.65	0.30	0.30
11	III-1	4.9	0.11	0.70	0.30	0.30
12	III-2	4.9	0.09	0.60	0.30	0.20
13	III-3	5.0	0.10	0.55	0.20	0.15
14	III-4	4.8	0.09	0.50	0.20	0.35
15	III-5	4.9	0.11	0.75	0.15	0.20
16	IV-1	4.9	0.10	0.60	0.15	0.40
17	IV-2	4.9	0.09	0.45	0.20	0.35
18	IV-3	4.9	0.08	0.40	0.30	0.20
19	IV-4	4.8	0.07	0.45	0.20	0.30
20	IV-5	4.8	0.09	0.40	0.40	0.30
21	V-1	5.1	0.12	0.80	0.30	0.40
22	V-2	4.9	0.10	0.80	0.30	0.20
23	V-3	5.2	0.11	0.70	0.30	0.30
24	V-4	5.1	0.08	0.45	0.40	0.20
25	V-5	5.1	0.08	0.40	0.35	0.30
26	VI-1	4.9	0.23	1.20	0.60	0.40
27	VI-2	5.1	0.09	0.45	0.25	0.20
28	VI-3	5.1	0.04	0.30	0.20	0.20
29	VI-4	5.2	0.12	0.70	0.30	0.30
30	VI-5	4.6	0.11	0.50	0.30	0.30

LA MOLINA, 24 DE ENERO DE 1992

JSV/g.L.

  
ING. BRAULIO LA TORRE MARTINEZ  
Jefe del Laboratorio

**ANEXO Nº5**

**PERDIDA DE NUTRIENTES EN EL SUELO  
EROSIONADO Y EN EL AGUA DE ESCORRENTIA**

### Pérdida de nutrientes en el suelo erosionado

Pendiente (%)	Tratamiento	Total (kg/ha)	M.O. (kg/ha)	P (g/ha)	K (g/ha)	Al <sup>3+</sup> (g/ha)
30	Vegetación natural	0,074	8,837	4,069	42,474	27,531
	Favor de la pendiente	0,400	48,807	27,061	225,552	147,705
	Con aporque	0,102	11,231	5,420	55,809	41,092
	Sin aporque	0,080	8,798	4,147	43,476	32,241
	Suelo desnudo	2,356	323,003	180,107	1506,860	669,077
35	Vegetación natural	0,072	11,163	4,475	46,714	20,763
	Favor de la pendiente	0,576	72,334	34,000	349,895	191,788
	Con aporque	0,161	23,890	8,995	105,539	46,954
	Sin aporque	0,091	12,457	5,735	57,567	27,719
	Suelo desnudo	2,223	321,815	157,650	1573,035	491,946
40	Vegetación natural	0,224	27,047	10,184	98,132	116,162
	Favor de la pendiente	0,789	94,105	35,972	475,716	277,188
	Con aporque	0,252	27,440	11,760	99,156	140,963
	Sin aporque	0,155	17,354	7,167	87,451	60,637
	Suelo desnudo	2,228	367,676	191,237	1464,069	573,074
45	Vegetación natural	0,151	26,353	7,102	76,679	67,691
	Favor de la pendiente	0,988	111,383	33,255	342,434	612,324
	Con aporque	0,274	33,252	10,494	113,305	150,036
	Sin aporque	0,341	34,301	13,120	129,196	198,946
	Suelo desnudo	1,622	238,316	93,624	902,082	626,044
50	Vegetación natural	0,075	9,777	5,046	57,951	12,152
	Favor de la pendiente	0,289	28,551	15,094	205,222	68,664
	Con aporque	0,148	12,688	7,524	120,587	19,895
	Sin aporque	0,118	11,176	6,197	94,802	16,911
	Suelo desnudo	0,549	100,812	43,696	437,686	67,341
60	Vegetación natural	0,158	17,242	9,614	123,620	24,286
	Favor de la pendiente	0,541	62,211	40,418	401,141	99,744
	Con aporque	0,170	24,386	9,860	123,609	36,220
	Sin aporque	0,165	21,327	9,819	115,206	39,865
	Suelo desnudo	1,140	194,753	78,069	881,158	181,120

### Pérdida de nutrientes en el agua de escorrentía

Pendiente (%)	Tratamiento	Total (kg/ha)	Ca (kg/ha)	Mg (kg/ha)	K (kg/ha)
30	Vegetación natural	25,014	7,608	2,565	14,842
	Favor de la pendiente	13,725	6,513	1,437	5,775
	Con aporque	9,463	3,814	1,929	3,720
	Sin aporque	8,669	4,840	1,468	2,360
	Suelo desnudo	26,679	11,336	3,057	12,286
35	Vegetación natural	15,009	7,497	1,011	6,501
	Favor de la pendiente	13,450	5,374	1,087	6,989
	Con aporque	8,194	3,758	1,052	3,384
	Sin aporque	7,424	3,789	0,862	2,772
	Suelo desnudo	18,311	5,109	1,240	11,961
40	Vegetación natural	9,437	5,749	0,698	2,991
	Favor de la pendiente	9,049	4,632	1,405	3,012
	Con aporque	7,192	2,757	0,669	3,766
	Sin aporque	4,842	2,762	0,610	1,470
	Suelo desnudo	12,763	6,089	1,583	5,091
45	Vegetación natural	12,248	4,765	1,285	6,198
	Favor de la pendiente	9,888	4,032	0,612	5,244
	Con aporque	6,811	2,444	0,659	3,708
	Sin aporque	7,782	2,535	1,538	3,709
	Suelo desnudo	11,700	4,814	2,191	4,696
50	Vegetación natural	7,576	3,614	0,940	3,022
	Favor de la pendiente	5,615	1,875	0,996	2,744
	Con aporque	4,473	1,859	1,003	1,612
	Sin aporque	8,142	3,696	0,841	3,605
	Suelo desnudo	13,305	7,757	1,765	3,783
60	Vegetación natural	4,516	1,669	0,675	2,171
	Favor de la pendiente	10,167	4,850	1,261	4,055
	Con aporque	14,284	7,311	2,218	4,754
	Sin aporque	5,751	2,609	0,880	2,262
	Suelo desnudo	10,490	4,139	1,507	4,844

**ANEXO N°6**

**ANALISIS DE REGRESION MULTIPLE  
PARA CADA TRATAMIENTO**

### **Análisis de regresión múltiple para cada tratamiento**

Erosión (g)

Escorrentía (l)

Cantidad de lluvia precipitada (mm)

Cobertura vegetal (%)

Pendiente del terreno (%)

C1 = Log (erosión)

C2 = Log (escorrentía)

C3 = Log (cantidad de lluvia precipitada)

C4 = Log (cobertura vegetal)

C5 = Log (pendiente del terreno)

#### **Correlación para el tratamiento vegetacion natural**

	C1	C2	C3	C4
C2	0,709			
C3	0,701	0,928		
C4	-0,376	-0,045	-0,053	
C5	0,088	-0,095	-0,017	0,030

#### **Correlación para el tratamiento surcos a favor de la máxima pendiente**

	C1	C2	C3	C4
C2	0,735			
C3	0,718	0,916		
C4	-0,217	0,049	-0,037	
C5	-0,008	-0,171	-0,017	0,089

#### **Correlación para el tratamiento surcos en contorno con aporque**

	C1	C2	C3	C4
C2	0,662			
C3	0,646	0,948		
C4	-0,442	-0,047	-0,043	
C5	0,072	-0,071	-0,017	0,057

### Correlación para el tratamiento surcos en contorno sin aporque

	C1	C2	C3	C4
C2	0,675			
C3	0,669	0,946		
C4	-0,413	-0,052	-0,044	
C5	0,128	-0,039	-0,017	0,003

### Correlación para el tratamiento suelo desnudo

	C1	C2	C3
C2	0,832		
C3	0,781	0,922	
C5	-0,107	-0,085	-0,017

### Regresión para el tratamiento vegetación natural

La ecuación de regresión es:

$$C1 = -1,40 + 0,584 C2 + 0,330 C3 - 0,396 C4 + 0,935 C5$$

Predictor	Coef	Stdev	t-ratio	p
Constant	1,3968	0,7438	-1,88	0,061
C2	0,58355	0,09570	6,10	0,000
C3	0,3298	0,1349	2,45	0,015
C4	-0,39591	0,03547	-11,16	0,000
C5	0,9347	0,1957	4,78	0,000

$$s = 0,8327 \quad R\text{-sq} = 65,4\% \quad R\text{-sq(aj)} = 65,1\%$$

### Análisis de Varianza

SOURCE	DF	SS	MS	F	p
Regression	4	473,98	118,50	170,88	0,000
Error	361	250,33	0,69		
Total	365	724,32			

### Regresión para el tratamiento surcos a favor de la máxima pendiente

La ecuación de regresión es:

$$C1 = -1,76 + 1,03 C2 + 0,038 C3 - 0,304 C4 + 1,06 C5$$

Predictor	Coef	Stdev	t-ratio	p
Constant	-1,7631	0,9475	-1,86	0,064
C2	1,0258	0,1228	8,35	0,000

C3	0,0380	0,1678	0,23	0,821
C4	-0,30386	0,03833	-7,93	0,000
C5	1,0584	0,2599	4,07	0,000

s = 1,026    R-sq = 62,5%    R-sq(adj) = 62,1%

#### Análisis de Varianza

SOURCE	DF	SS	MS	F	p
Regression	4	632,71	158,18	150,32	0,000
Error	361	379,87	1,05		
Total	365	1012,58			

#### Regresión para el tratamiento surcos en contorno con aporque

La ecuación de regresión es:

$$C1 = -0,527 + 0,719 C2 + 0,203 C3 - 0,471 C4 + 0,876 C5$$

Predictor	Coef	Stdev	t-ratio	p
Constant	-0,5267	0,7937	-0,66	0,507
C2	0,7192	0,1376	5,22	0,000
C3	0,2031	0,1701	1,19	0,233
C4	-0,47061	0,03611	-13,03	0,000
C5	0,8762	0,2094	4,18	0,000

s = 0,8971    R-sq = 62,9%    R-sq(adj) = 62,5%

#### Análisis de Varianza

SOURCE	DF	SS	MS	F	p
Regression	4	492,44	123,11	152,99	0,000
Error	361	290,50	0,80		
Total	365	782,94			

#### Regresión para el tratamiento surcos en contorno sin aporque

La ecuación de regresión es:

$$C1 = -1,18 + 0,510 C2 + 0,450 C3 - 0,404 C4 + 0,921 C5$$

Predictor	Coef	Stdev	t-ratio	p
Constant	-1,1766	0,7640	-1,54	0,124
C2	0,5105	0,1281	3,98	0,000
C3	0,4497	0,1577	2,85	0,005
C4	-0,40444	0,03408	-11,87	0,000
C5	0,9209	0,1978	4,65	0,000

s = 0,8595    R-sq = 63,1%    R-sq(adj) = 62,6%

**Análisis de Varianza**

SOURCE	DF	SS	MS	F	p
Regression	4	455,05	113,76	154,01	0,000
Error	361	266,66	0,74		
Total	365	721,71			

**Regresión para el tratamiento suelo desnudo**

La ecuación de regresión es:

$$C1 = 1,64 + 1,19 C2 + 0,264 C3 - 0,411 C5$$

Predictor	Coef	Stdev	t-ratio	p
Constant	1,637	1,053	1,56	0,121
C2	1,1867	0,1243	9,55	0,000
C3	0,2636	0,1860	1,42	0,157
C4	-0,4105	0,2789	-1,47	0,142

s = 1,195    R-sq = 69,5%    R-sq(adj) = 69,3%

**Análisis de Varianza**

SOURCE	DF	SS	MS	F	p
Regression	3	1179,12	393,04	275,09	0,000
Error	362	517,21	1,43		
Total	365	1696,33			

**ANEXO N°7**

**FOTOS**



**Foto N°1: Erosión de los suelos en el Valle de Chanchamayo.**



**Foto N°2: Vista de los bloques de pendiente 30%, 35%, 40% y 45%**



**Foto N°3: Vista de los bloques de pendiente 50% y 60%**



**Foto N°4: Instalación de las parcelas de escorrentía.**



**Foto N°5: Instalación de las parcelas de escorrentía.**



**Foto N°6: Tratamiento 1: Vegetación natural.**



**Foto N°7: Tratamiento 2: Surcos a favor de la máxima pendiente.**



**Foto N°8: Tratamientos 3 y 4: Surcos en contorno con aporque y sin aporque.**



**Foto N°9: Tratamiento 5: Suelo desnudo.**



**Foto N°10: Recolección de muestras.**



**Foto Nº11: Transporte de muestras.**



**Foto Nº12: Medida de la cobertura vegetal.**