

UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN SIMÓN
FACULTAD DE CIENCIAS AGRÍCOLAS Y PECUARIAS
“Dr. MARTÍN CÁRDENAS”



**DETERMINACIÓN DE ESCORRENTÍA Y EROSIÓN BAJO
DIFERENTES TIPOS DE COBERTURA VEGETAL EN LA ZONA DE
“VILLA FLORES”-TIRAQUE**

TRABAJO DIRIGIDO PARA
OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO AGRÍCOLA.

JUAN CARLOS HUARACHI VILLCA

COCHABAMBA – BOLIVIA

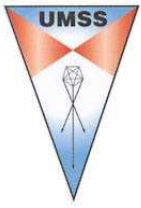
2009



DEDICATORIA

Con cariño dedico este trabajo:

*A mis padres Julián Huarachí S. y
Luisa Villca A. y a mis hermanos, ellos
son la razón de mi existencia y mi
apoyo en mis ansias de superación.*



AGRADECIMIENTOS

Deseo expresar mis sinceros agradecimientos:

Agradezco a Dios eternamente por haberme guiado e iluminado siempre para llevar el presente trabajo a su feliz término.

A la prestigiosa Universidad Mayor de San Simón, especialmente a la Facultad de Ciencias Agrícolas y Pecuarias; a los distinguidos docentes por su brillante enseñanza académica y al personal administrativo.

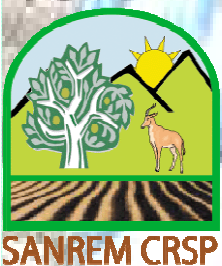
Al Reverendo Padre Manfredo Rauh y a la distinguida Hermana Verena Birnbacher por su gran apoyo durante los años de mi formación profesional y espiritual.

A mis asesores: Ing. Carlos Omar Vargas, Ing. Emigdio Céspedes y a la Ingeniera Ana Karina Saavedrea por sus valiosas acertaciones en la realización y revisión del presente Trabajo Dirigido.

A la institución del Programa de Manejo Integrado de Cuencas (PROMIC) y a la Fundación para la Promoción e Investigación de Productos Andinos (PROINPA).

Al Ing. Luis Quintín Coca L. por brindarme su apoyo moral, espiritual sobre todo académico de una manera incondicional.

Aprovecho esta ocasión especial para decirle gracias a mis familiares, sobre todo a mis padres y de una forma muy particular a mi hermano Ing. Gregorio y a su esposa Profa. Ángela Andia por su aporte desinteresado en la elaboración de este trabajo.



HOJA DE APROBACIÓN

El presente Trabajo Dirigido fue revisado y aprobado por el siguiente tribunal:

.....
Ing. Agr. M.Sc. Omar Vargas M.
TUTOR

.....
Ing. Agr. M.Sc. Emigdio Céspedes S.
ASESOR

.....
Ing. Agr. M.Sc. Ana K. Saavedra R.
ASESORA

.....
VºBº Ing. Agr. M.Sc. Carlos Rojas R.
**DECANO DE LA FACULTAD DE CIENCIAS
AGRÍCOLAS Y PECUARIAS
“Dr. MARTÍN CÁRDENAS”**

RESUMEN

El presente trabajo de investigación fue realizado en la localidad de Villa Flores, de la Provincia Tiraque del departamento de Cochabamba. El objetivo principal fue “Determinar la erosión a partir de la escorrentía bajo diferentes tipos de cobertura vegetal”.

La erosión es uno de los problemas que preocupa a los científicos, gobernantes y ciudadanos. Especialmente afecta a uno de los elementos básicos para la vida, la fertilidad de los suelos. La metodología del trabajo de investigación fueron parcelas de escorrentía distribuidas completamente al azar, instaladas en un área de 300 m² de superficie a 4000 m.s.n.m., con una pendiente de 7%, y un suelo de textura franca. Los tratamientos fueron: T₁, Vegetación nativa; T₂, Cultivo en surcos perpendicular a la pendiente; T₃, Cultivo en surcos en sentido de la pendiente y T₄, Cultivo en parcela de tres años.

La precipitación media anual fue de 613,3 mm. Del total de la precipitación pluvial, el 88,4% fue la que causó escorrentía y erosión, del cual el 48,35%, ocurrió en el mes de Enero, es decir, más del 50% de la escorrentía y por consiguiente mayor pérdida del suelo, se registró en este mes. Los valores más altos de escorrentía y erosión fueron de 77,78% y 88,89% respectivamente, debido a la presencia de precipitaciones de alta intensidad. La mayor pérdida de suelo fue en el tratamiento 3 con 2,77 t/ha, que significa el 30,78% del total, mientras en el tratamiento 4 fue de 1,38 t/ha siendo el 15,36% del total de suelo perdido. La eficiencia de la cobertura vegetal fue proporcional al crecimiento y desarrollo de la vegetación, que respondió notablemente reduciendo el efecto erosivo de la precipitación.

Palabras claves: Degradación, Erosión, Escorrentía y Cobertura Vegetal.

SUMMARY

The present research was carried out in the community of Villa Flores, of the County Tiraque of the department of Cochabamba. The main objective was "to determine erosion and runoff under different types of vegetable covering."

Erosion is one of the problems that worry the scientists, stakeholders and citizens. It affects especially one of the main elements for the life, fertility of soils. The methodology of the investigation work was runoff plots distributed totally at random, installed in an area of 300 square meters, over 4000 meters above the sea level, with a 7% slope, in a frank texture soil. The treatments were T1, native vegetation; T2, crop in rows perpendicular to the slope; T3, crop in rows following the slope and T4, crop in a 3 year fallow plot.

The annual average of rain was 613,3 mm. From the total pluvial precipitation, 88,4% was the one that caused runoff and erosion, of which 48,35%, happened in January, it means, more than 50% of the runoff and consequently bigger loss of soil, was registered in that month. The highest values in runoff and erosion were respectively of 77,78% and 88,89%, due to the high intensity precipitations. The biggest soil loss was in Treatment 3 with 2,77 t/ha, that means 30,78% of the total, while in Treatment 4 was 1,38 t/ha, being 15,36% of the total of lost soil. The efficiency of the vegetable covering was proportional to the growth and development of the vegetation that high lightly responded reducing the erosive effect of the precipitation.

Key words: Degradation, Erosion, Runoff and Vegetable Covering

ÍNDICE DE CONTENIDO

	<i>Páginas</i>
I. INTRODUCCIÓN	1
1.1. <i>Objetivos</i>	3
1.1.1. <i>Objetivo general</i>	3
1.1.2. <i>Objetivos específicos</i>	3
II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	4
2.1. <i>Degradación</i>	4
2.2. <i>Conceptos de erosión</i>	5
2.2.1. <i>Clases de erosión</i>	5
2.2.1.1. <i>Erosión natural o geológica</i>	5
2.2.1.2. <i>Erosión acelerada ó inducida</i>	6
2.3. <i>Agentes de erosión</i>	6
2.3.1. <i>Activos</i>	6
2.3.2. <i>Predisponentes</i>	6
2.3.3. <i>Amortiguador</i>	7
2.3.4. <i>Pasivo</i>	7
2.4. <i>Erosión hídrica y sus mecanismos</i>	7
2.5. <i>Erosión del suelo por el agua</i>	7
2.6. <i>Escorrentía</i>	8
2.6.1. <i>Origen de la escorrentía</i>	8
2.7. <i>Formas de erosión hídrica:</i>	9
2.7.1. <i>Erosión por gotas de lluvia</i>	9
2.7.2. <i>Erosión laminar</i>	10
2.7.3. <i>Erosión en surcos</i>	11
2.7.4. <i>Erosión en cárcavas o zanjones</i>	12
2.8. <i>Procesos de erosión hídrica:</i>	13

2.8.1. Erosividad	13
2.8.2. Erodabilidad	14
2.9. Factores que determinan la erosión hídrica	15
2.9.1. Características de la lluvia:	15
3.9.1.1. Cantidad de lluvia	15
2.9.1.2. Intensidad	16
2.9.1.3. Duración	17
2.9.2. Características edáficas:	18
2.9.2.1. Físicas	18
a). Textura	18
b). Estructura	19
c). Estabilidad estructural de los agregados	19
d). Capacidad de infiltración y permeabilidad del suelo	20
2.9.2.2. Químicos	21
a). Flocculación	21
b). Acidez del suelo	21
c). Materia Orgánica	21
2.9.2.3. Biológicos	21
2.10. Longitud y grado de pendiente en erosión hídrica	22
2.11. Cobertura vegetal	24
2.12. El hombre	26
2.13. Las lluvias torrenciales en erodabilidad de los suelos	27
2.14. Métodos experimentales para la determinación de la erosión hídrica ...	28
2.14.1. Métodos indirectos	28
2.14.2. Métodos directos	29
2.14.2.1. Medición de variaciones del nivel superficial	29
a). Estacas de erosión	29
2.14.2.2. Medición de la esorrentía superficial	31
a). Parcelas de esorrentía	31
b). Cajas Gerlach	31
2.14.2.3. Medición de la erosión por salpicadura	32
2.14.2.4. Método de las chapas	32
III. MATERIALES Y MÉTODOS	34
3.1. Descripción de la zona de estudio	34
3.1.1. Localización	34

3.1.2. <i>Clima</i>	35
3.1.3. <i>Vegetación</i>	36
3.1.4. <i>Suelo</i>	36
3.2. <i>Materiales</i>	37
3.2.1. <i>Material de información</i>	37
3.2.2. <i>Material de campo</i>	37
3.2.3. <i>Material de laboratorio</i>	38
3.2.4. <i>Material de gabinete</i>	39
3.2.5. <i>Material de transporte</i>	39
3.2.6. <i>Material biológico</i>	39
3.3. <i>Metodología</i>	40
3.3.1. <i>Etapa de pre-campo</i>	41
3.3.2. <i>Etapa de campo</i>	41
3.3.3. <i>Etapa de laboratorio</i>	44
3.3.4. <i>Etapa de gabinete</i>	44
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	46
4.1. <i>Precipitación</i>	46
4.2. <i>Escorrentía</i>	48
4.3. <i>Cobertura vegetal</i>	51
4.3.1. <i>Vegetación nativa</i>	51
4.3.2. <i>Cultivo de papa</i>	52
4.4. <i>Relación entre escorrentía, erosión y cobertura vegetal</i>	53
4.4.1. <i>Vegetación nativa (tratamiento 1)</i>	53
4.4.2. <i>Cultivo de papa (tratamiento 2)</i>	54
4.4.3. <i>Cultivo de papa (tratamiento 3)</i>	55
4.4.4. <i>Cultivo de papa (tratamiento 4)</i>	57
4.5. <i>Pérdidas de suelo</i>	58

<i>4.6. Pendiente con relación a la escorrentía y erosión.....</i>	<i>59</i>
<i>V. CONCLUSIONES</i>	<i>60</i>
<i>VI. RECOMENDACIONES</i>	<i>62</i>
<i>VII. BIBLIOGRAFIA</i>	<i>64</i>
<i>ANEXOS</i>	<i>68</i>

ÍNDICE DE MAPAS

<i>MAPA 1. Mapa de ubicación de la zona de estudio.</i>	<i>Páginas</i> 34
---	----------------------

ÍNDICE DE CUADROS

<i>Cuadro 1. Ubicación geográfica del ensayo, según latitud y longitud.</i>	<i>Páginas</i> 35
<i>Cuadro 2. Análisis físico - químico de suelos.</i>	36
<i>Cuadro 3. Registro de las precipitaciones que causaron escorrentía y erosión durante el estudio.</i>	46

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1. Diseño de método de estacas de erosión</i>	<i>Páginas</i> 30
<i>Figura 2. Flujograma de metodología de procedimiento</i>	40
<i>Figura 3. Croquis del ensayo</i>	41
<i>Figura 4. Diseño de la parcela de escorrentía.</i>	42

ÍNDICE DE GRÁFICOS

	<i>Páginas</i>
Gráfico 1. <i>Precipitación total y el porcentaje de precipitación que causó escorrentía y erosión.</i>	47
Gráfico 2. <i>Relación escorrentía con precipitación.</i>	49
Gráfico 3. <i>Relación de erosión con la escorrentía por tratamientos.</i>	50
Gráfico 4. <i>Crecimiento y desarrollo de cobertura vegetal en los diferentes tratamientos.</i>	52
Gráfico 5. <i>Relación de curvas de escorrentía, erosión y cobertura vegetal nativa.</i>	54
Gráfico 6. <i>Curvas de escorrentía, erosión y cobertura vegetal del cultivo de papa en el tratamiento 2.</i>	55
Gráfico 7. <i>Curvas de escorrentía, erosión y cobertura vegetal del cultivo de papa en el tratamiento 3.</i>	56
Gráfico 8. <i>Curvas de escorrentía, erosión y cobertura vegetal del cultivo de papa en el tratamiento 4.</i>	57
Gráfico 9. <i>Pérdida de suelo en porcentaje por tratamientos.</i>	58

ÍNDICE DE ANEXOS

	<i>Página</i>
<i>ANEXO 1: MAPAS DE INFORMACIÓN.....</i>	<i>69</i>
<i>ANEXO 2: GRADO DE EROSIÓN DE LOS SUELOS EN LAS ZONAS AGRÍCOLAS DEL DEPARTAMENTO DE COCHABAMBA</i>	<i>71</i>
<i>ANEXO 3: FOTOGRAFIA DE DE LA ZONA DE ESTUDIO.....</i>	<i>72</i>
<i>ANEXO 4: FOTOGRAFIAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.....</i>	<i>75</i>
<i>ANEXO 5: FOTOGRAFIAS DE PROCESAMIENTO DE MUESTRAS.....</i>	<i>77</i>
<i>ANEXO 6: IMÁGENES SOBRE FORMAS DE EROSIÓN Y CONSERVACIÓN DE SUELOS.....</i>	<i>78</i>
<i>ANEXO 7: PLANILLA DE REGISTRO.....</i>	<i>82</i>
<i>ANEXO 8: PLANILLAS DE CÁLCULOS DE DICIEMBRE 2007 A MAYO 2008 PARA EL TRATAMIENTO (2) DE LA REPETICIÓN (3)</i>	<i>83</i>
<i>ANEXO 9: ANÁLISIS FÍSICO – QUÍMICO DEL SUELO.....</i>	<i>89</i>
<i>ANEXO 10: CALIBRACIÓN DEL TANQUE DE ALMACENAMIENTO</i>	<i>90</i>

I. INTRODUCCIÓN

La degradación de los suelos es uno de los principales problemas que afronta la humanidad. La erosión del suelo es un proceso complejo, originado por *factores naturales* (sin la influencia del hombre), sobre todo en zonas con topografía accidentada; y por otro lado, en gran medida es acelerada debido a la actividad humana, muchas veces producto del manejo inadecuado del recurso suelo, denominado *erosión inducida*. La preparación del suelo, es una práctica que se vuelve común, acelerando la degradación del suelo y en consecuencia el abandono de tierras degradadas. Usualmente el hombre de campo en la agricultura utiliza la capa arable de la superficie de la tierra, la cual es rica en materia orgánica.

Se considera por un lado que los alimentos y otras necesidades del hombre se obtienen a partir del suelo y del agua mediante la actividad agrícola y pecuaria, sin embargo se hace conciencia de que cada vez hay menos terrenos productivos en regiones agrícolas por los diversos procesos de degradación del suelo, como la erosión, que deteriora y acelera la pérdida de la fertilidad reduciendo la capacidad productiva de éstos.

La mayor parte de los suelos agrícolas en el mundo, están sujetos a la erosión hídrica; se revelan datos muy preocupantes, casi 6 millones de hectáreas de suelos agrícolas en el mundo están sujetos a la erosión hídrica, especialmente en zonas tropicales con precipitaciones medias anuales que exceden los 1000 a 2000 mm. Se estima que 22500 millones de toneladas de suelos se pierden en el mundo anualmente. El crecimiento alarmante de la población y la escasez de la tierra de labranza, someten hoy en día a una serie de problemas serios, especialmente en países en desarrollo. (Sivila, 1990).

A nivel nacional, según los diferentes estudios realizados en el tema, la erosión fluctúa entre 35 – 41% de la superficie total, que representa aproximadamente 418.000 hectáreas, F.A.O. (1993), citada en la Revista de Agricultura nº 41 (1993). El mapa de susceptibilidad del suelo a la erosión hídrica, realizado por Freeman (1979), citado por García (1993), muestra diversas áreas del país, susceptibles a este fenómeno, donde se observa que existe una relación

directa, entre la topografía y la acción erosiva de las precipitaciones sobre el suelo, (ver anexo A.1.2). Y por otro lado debemos indicar que la erosión en el país se debe a la deforestación, al sobre pastoreo, en especial en el Altiplano boliviano y en cabeceras del Valle.

A nivel Departamental, en Cochabamba, la Cooperación al Desarrollo de Cochabamba (CORDECO, 1980), citado por García (1993), ha tabulado los estudios realizados por el Ministerio de Asuntos Campesinos y Agropecuarios (MACA), sobre el grado de afectación de la erosión en las zonas agrícolas en Puna, Valle Alto y Valles Mizque.-.Aiquile. (Ver anexo 2). Se tiene datos de erosión hídrica en el cultivo de avena en la Estación Experimental de Toralapa, de la Provincia Tiraque. En este medio ambiente de puna, con tierras topográficamente accidentadas, se estima la media de erosión hídrica en 1.3 toneladas de suelo perdido por hectárea al año (Cossio, 1990), y una erosión media de 4.8 t/ha al año, en la localidad de Chuñavi de la Provincia Ayopaya (Sivila, 1990).

Una de las regiones de nuestro departamento más afectada por la erosión hídrica, es la Provincia Tiraque, donde gran parte de territorio dedicado a la agricultura se encuentra en la zona montañosa, y la degradación de los suelos es considerable, constituyendo un problema ecológico por la destrucción de la naturaleza y los cambios negativos en el medio ambiente. Estos cambios afectan el rendimiento de los cultivos, lo que repercute social y económicamente en la población.

Por consiguiente el presente trabajo, se realizó con la finalidad de conocer el grado de erosión del suelo y al mismo tiempo aportar con la información básica a interesados en el tema de erosión y degradación para posibilitar el planteamiento de alternativas futuras de uso y manejo adecuado del recurso suelo, dirigido hacia la conservación de suelos agrícolas, que consiste en realizar una combinación de prácticas destinadas a proteger y manejar adecuadamente este importante recurso, para mantener o mejorar al mismo tiempo su productividad. Para ello se ha planteado los siguientes objetivos:

1.1. Objetivos

Entre los objetivos del trabajo de investigación, se tienen:

1.1.1. Objetivo general

- Cuantificar la pérdida de suelo y la escorrentía bajo diferentes tipos de cobertura vegetal en la zona de “Villa Flores”, Provincia Tiraque.

1.1.2. Objetivos específicos

- ✓ Calcular el volumen de pérdida de suelo a partir de la escorrentía en cada uno de los distintos tratamientos.
- ✓ Determinar la cantidad de escorrentía en los diferentes tratamientos durante el periodo de estudio.
- ✓ Identificar cuál es el factor (pendiente, suelo y precipitación) de mayor influencia sobre los procesos erosivos para este tipo de ecosistema.
- ✓ Interpretar el efecto y la eficiencia de la cobertura vegetal.

II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. Degradación

Espinoza (1978), señala que la degradación del suelo es un proceso natural, como resultado de la ruptura del equilibrio bioclimático - edáfico, en función del tiempo, que es una secuencia de la destrucción de la naturaleza.

Según la F.A.O. (1980), citado por García (1993), la degradación de suelos ha sido definida como “un proceso que rebaja la capacidad actual y potencial del suelo para producir (cuantitativa y cualitativamente) bienes o servicios”.

Según Duarte (1990), citado por García (1993), la degradación del suelo ha sido considerada como uno de los principales problemas de la humanidad, ya que según este autor, mundialmente se pierden por ello de 6 hasta 7 millones de hectáreas de tierras productivas cada año; a este ritmo se habrán agotado todas las tierras productivas del planeta. Además cabe subrayar que la degradación del suelo se ha convertido en un problema grave, principalmente por la acción antrópica; asevera (Ortiz 1986, citado por Chino 2002), que tal proceso es causado por factores naturales en 13% y por la actividad del hombre en 87%.

Según el estudio realizado por el Banco Interamericano de Desarrollo (IADB, 1983), citado por García (1993), entre los procesos de degradación del suelo el más severo es la erosión, pues en otros procesos el suelo aunque degradado, permanece en su sitio (pérdida de suelo temporal), en caso de la erosión la pérdida de suelo es permanente.

Stocking y Mornaghan (2003), describen la degradación como “la disminución acumulada del potencial productivo de la tierra, incluyendo sus principales usos (secano, suelo arable, regadío, pastos y bosque), sus sistemas de cultivo (subsistencia de minifundios), y su valor como un recurso económico”.

2.2. Conceptos de erosión

Según Stallings (1962), la erosión es el movimiento del suelo por los agentes naturales, normalmente viento, agua y deslizamientos. La erosión geológica es normal, no es un resultado de la actividad humana.

Suárez de Castro (1982), define a la erosión del suelo, como al desprendimiento y al arrastre acelerado de las partículas del suelo, principalmente en zonas de precipitaciones altas y en terrenos de pendientes accidentadas.

Para Kirkby y Morgan (1984), la erosión se considera como la remoción del suelo a una tasa mayor que la de su formación y se atribuye principalmente al hombre y a sus actividades.

Según Vásquez (2000), la erosión ha sido definida como “el proceso físico que consiste en el desprendimiento y el arrastre de los materiales del suelo causados principalmente por el agua, el viento y por agentes biológicos”.

2.2.1. Clases de erosión

2.2.1.1. Erosión natural o geológica

Suárez de Castro (1979), se refiere al arrastre de las partículas minerales principalmente por efecto de los movimientos geotectónicos como ser los terremotos, maremotos y sismos. Este tipo de erosión siempre existe en la naturaleza y por eso que se llama también natural.

Este proceso es tan lento que requiere eras completas para producir cambios importantes en la configuración de la superficie terrestre, es un proceso que seguirá desarrollándose a pesar de todo lo que el hombre haga para evitarlo. Se calcula que una capa de suelo de un centímetro de espesor es generado en cerca de mil años (Torres Ruiz 1984, citado por García 1993).

2.2.1.2. Erosión acelerada ó inducida

Según Torres Ruiz (1984) citado por García (1993), además de la erosión geológica, debido a las malas prácticas del hombre se produce la erosión inducida, es por esta situación que la velocidad de la erosión es mucho mayor, por eso se toma como riesgo al hombre. Se dice también que el equilibrio natural del suelo es alterado.

La erosión del suelo va mano a mano con las actividades del hombre más intensas, tales como la introducción de cultivos de forma más continua, la expansión de la ganadería, la industria, construcción de caminos, vías férreas, viviendas, etc. También el sobre pastoreo y la tala inmoderada de árboles expone el suelo a la erosión. (Becerra, 1994).

2.3. Agentes de erosión

Según Becerra (1994), los agentes de erosión son los siguientes:

2.3.1. Activos

Son agentes activos, el agua y el viento que directamente realizan la acción en el proceso de erosión en el desprendimiento y arrastre de los materiales del suelo.

2.3.2. Predisponentes

Se denominan agentes predisponentes a todos aquellos fenómenos ambientales y organismos vivos que directa o indirectamente predisponen al suelo para ser erosionados tales como la temperatura, la humedad relativa, la acción de algunos animales superiores, termitas, lombrices y diversos inherentes a la actividad del hombre.

2.3.3. Amortiguador

La vegetación es el agente amortiguador de la erosión, debido a su efecto disipador de la energía cinética de la lluvia, disminuye la velocidad del flujo de escurrimiento superficial y la velocidad del viento.

2.3.4. Pasivo

El agente pasivo es el suelo mismo, que recibe la acción de la erosión, que por su mayor o menor susceptibilidad a sufrir la erosión influye en la magnitud del proceso.

2.4. Erosión hídrica y sus mecanismos

Según Kirkby y Morgan (1984), la erosión hídrica, es la cantidad bruta del suelo retirado por la acción dispersante de las gotas de lluvia o arrastre por escorrentía siendo el tipo más importante de erosión por su mecanismo de compactación de la superficie del suelo, las salpicaduras y el flujo del agua que desprenden las partículas, procesos que pueden sellar los poros superficiales, disminuye la tasa de infiltración y luego producir la escorrentía.

Según Stocking y Mornaghan (2003), es la eliminación de partículas de suelo por la acción del agua; una característica importante de la erosión del suelo es la eliminación selectiva de las fracciones más finas y fértiles del suelo.

2.5. Erosión del suelo por el agua

La F.A.O. (1983), considera la mecánica de la erosión por el agua en tres etapas:

1) Las partículas se desprenden por el impacto de las gotas de lluvia o por la acción de la escorrentía.

2) Las partículas desprendidas, son arrastradas hacia abajo por la corriente del agua.

3) Las partículas del suelo quedan depositadas en nuevos lugares de su origen.

Al respecto Sivila (1990), indica que la erosión causada por la lluvia, es la más importante, que se debe a la acción dispersante y al transporte de las partículas del suelo, por el efecto de las precipitaciones.

2.6. Escorrentía

2.6.1. Origen de la escorrentía

Foster (1967), señala que la determinación de la escorrentía de un área, depende de varios factores, tales como las características del lugar, pendiente, forma, cubierta vegetal y las características de la precipitación, que tiene un efecto directo en la escorrentía.

Por su parte, Worthen y Aldrich (1967), indican la importancia que existe, entre la intensidad de la lluvia y la infiltración en el suelo, en el origen de la escorrentía donde:

Escorrentía = Intensidad de lluvia – Velocidad de infiltración.

Entre tanto Hylski (1970), expresa el escurrimiento superficial, como una unidad de volumen expresada en milímetros al igual que la precipitación, suponiendo que el agua de escorrentía se halla distribuida uniformemente como una lámina de agua en la superficie del suelo.

Rodríguez (1974), citado por Sivila (1990), indica al escurrimiento superficial, como un fenómeno que baja por la superficie del terreno hacia los cauces por cualquier depresión del suelo, por la que pueda fluir, durante y después de la precipitación, donde una parte de la lluvia, es interceptada por las plantas, otra que se infiltra y la restante se escurre superficialmente.

2.7. Formas de erosión hídrica

La erosión causada por el agua, especialmente en terrenos agrícolas según varios autores, se agrupan en cuatro clases:

2.7.1. Erosión por gotas de lluvia

Según Millar, Turk y Foth (1961), citado por Suárez de Castro (1982), las partículas del suelo deben ser dislocadas del sitio donde yacen antes de ser transportadas. El impacto de las gotas de lluvia sobre el suelo no protegido es una de las fuerzas principales que actúan en el desalojamiento de las partículas. Siendo la misma una fase del proceso erosivo. La energía cinética de una gota de lluvia está en proporción al producto de su masa por el cuadrado de su velocidad. El mismo autor, indica que, el impacto de las gotas de lluvia aceleran esta desintegración y también hacen que las partículas más finas se acumulen en la superficie del suelo, formando una capa sobre el suelo, al secarse después de una fuerte lluvia; este sellamiento de la superficie del suelo es más pronunciado en suelos que contienen un alto porcentaje de arcilla coloidal, pero también puede ocurrir, a grado sorprendente en muchos migajones arenosos.

Según Stallings (1962), una gota de lluvia es explosiva y destructora, cuando las gotas de agua al caer golpean el suelo desnudo, la misma varía, dependiendo de su peso y velocidad. Las gotas grandes contienen más agua que las pequeñas, pesan más y tienen más fuerza viajando a la misma velocidad. Además causa tres tipos de daño: erosión lodosa, erosión de la fertilidad y erosión laminar.

La erosión lodosa; disminuye la infiltración, cuando el suelo se hace lodoso no puede absorber el agua, porque ésta superficie está sellada.

La erosión de la fertilidad; el alimento de la planta en nuestro suelo está en la materia orgánica, el limo y la arcilla; la materia orgánica está formada de partes de plantas, pero la mayor parte está podrida, es ligera, flota fácilmente y está en la superficie del suelo; la misma

es removido donde quiera que las gotas de lluvia golpeen el suelo desnudo, y no hay ninguna diferencia si la superficie está nivelada o en pendiente.

Evans (1984), citado por Chino (2002), indica que las gotas de lluvia compactan la superficie del suelo formando cráteres y haciendo que los agregados sean rotos, para que las partículas sean transportadas a una altura de 60 cm y a una distancia elevada del cráter de 180 cm de salpicadura ó chapoteo. En terrenos en declive más de la mitad de la salpicadura descienden por la ladera, como las gotas de agua de lluvia caen rápidamente y sucesivamente salpicando el suelo en todos sus puntos, es fácil comprender que durante las lluvias intensas el suelo está sometido a una labor energética y repetida de desintegración y elevación.

2.7.2. Erosión laminar

Según Stallings (1962), la salpicadura de las gotas de lluvia desgasta el suelo igualmente sobre toda la superficie. Ellas remueven el suelo en finas laminillas, del mismo modo que usted desgastaría una superficie de una tabla lijándola. Pero causa la mayor parte del movimiento del suelo en la cima de nuestras colinas, pues aquí es donde se necesita la menor cantidad de fuerza para desmenuzar y levantar el suelo.

Mela Mela (1963), manifiesta que la erosión laminar, se presenta en suelos superficiales, que se ubican sobre un suelo impermeable y que afecta a una buena parte de suelos agrícolas.

La F.A.O. (1967), señala como la remoción uniforme de la capa arable del suelo, cuyos resultados se pueden observar frecuentemente, como manchas claras en las laderas del terreno, donde la materia orgánica ha desaparecido por efecto de la lluvia, la cual significa la pérdida de la productividad del suelo.

Entre tanto Amaral (1978), menciona que la erosión laminar, es un poco difícil observar en el campo, donde tanto la materia orgánica y las arcillas se disgregan y que son trasladadas uniformemente de toda la extensión del suelo por el escurrimiento superficial.

Según Suárez de Castro (1979), la erosión laminar consiste en el desplazamiento del suelo superficial en forma de láminas o capas muy finas a través de la pendiente y percibiendo de esta manera el subsuelo que no es productivo. Esta clase de erosión es difícilmente controlada.

Suárez de Castro (1982), señala que la erosión laminar arrastra la capa uniforme del suelo y hace que la fertilidad del suelo baje considerablemente, cambiando el color del suelo más claro, por el efecto de la remoción del “humos” que no tiene resistencia a las gotas de lluvia y que son arrastradas por la escorrentía, que a su vez está relacionado con la cubierta vegetal, pendiente y las características del suelo.

Ferreira (1984), manifiesta que ese tipo de erosión es un desgaste paralelo de la superficie del suelo, donde la pérdida de una capa de un centímetro representa la pérdida de 100 m³/ha de suelo rico en elementos nutritivos para las plantas.

2.7.3. Erosión en surcos

Mela Mela (1963), señala que la erosión en surcos, se presenta como consecuencia de la erosión laminar por depresiones del terreno, que da a lugar a pequeños canales cuyo ancho puede ser mayor que su profundidad; que arrastra no solo el humos sino también las partículas de arcilla y limo, como consecuencia del mayor volumen de arrastre del suelo por unidad de superficie.

Por su parte la F.A.O. (1967), señala que este tipo de erosión se produce como efecto del mal uso de instrumentos de labranza, donde el desprendimiento de las partículas es mayor, y se originan por la línea del flujo del agua y no por choque de las gotas de lluvia.

La erosión en surcos, según Suárez de Castro (1982), se produce por las pequeñas irregularidades en la pendiente del terreno, en los que se forma pequeños canaliculos a lo largo de la pendiente, especialmente cuando se producen precipitaciones de gran intensidad y en terrenos con pendientes pronunciadas.

Según Vásquez, (2000), la erosión en surcos se produce mediante el arrastre y transporte de las partículas del suelo, originando pequeñas zanjas o surcos en las pequeñas ondulaciones irregulares de la superficie del terreno por donde fluye el agua de escorrentía por efecto de la pendiente, el suelo y el estado de la cubierta vegetal.

La erosión en surcos se ve favorecida cuando los cultivos se hacen en sentido de la pendiente, porque el agua escurre formando surcos. (Manual Agropecuario, 2004).

2.7.4. Erosión en cárcavas o zanjones

Según Millar, Turk y Foth (1961), citado por Suárez de Castro (1982), aunque la erosión en capas puede pasar desapercibida para el observador medio, las barrancas atraen inmediatamente la atención. Ellas estropean el paisaje y dan la impresión de abandono por la destrucción del suelo.

Esta erosión, se produce según la F.A.O. (1967), después de la erosión laminar y en surcos, se ocasiona cuando el escurrimiento aumenta en volumen y velocidad; que a su vez está regulada por las características del suelo, por el tamaño y forma de la pendiente.

Por su parte Fournier (1975), señala a la erosión en cárcavas, como la erosión inestable, principalmente en terrenos cultivados que son afectados por las altas intensidades de las precipitaciones, donde el agua de escorrentía excava el suelo, lo cual se profundiza con el correr del tiempo alcanzando los horizontes inferiores del suelo y después la roca madre, que pueden tomar dos formas sea en V y U dependiendo de los horizontes del suelo.

Suárez de Castro (1982), señala que la erosión en zanjas se presenta generalmente en aquellas zonas de terreno con erosión en surcos, los cuales no han sido corregidos oportunamente por el agricultor, razón por la cual, hace que la concentración de la escorrentía vaya ampliando año que pasa los surcos y así formando la erosión en zanjas.

Entre tanto Kirkby y Morgan (1984), mencionan que este tipo de erosión, se presenta comúnmente en tierras altas que tienen un subsuelo profundo y frágil, debido a la inestabilidad de la pendiente.

Según Vásquez, (2000), generalmente las cárcavas crecen longitudinalmente aguas arriba. Si no se controla la erosión de canalículos estos pueden crecer en longitud y profundidad a dimensiones bastante grandes, como consecuencia, difícilmente controlados.

Para Stocking y Mornaghan (2003), la erosión en zanjas es una depresión profunda, semejando una superficie reciente y muy activa para un drenaje natural; puede ser continua o discontinua, se extiende y profundiza en dirección ascendente por erosión en cascada.

2.8. Procesos de erosión hídrica

La erosión está en función de dos procesos:

2.8.1. Erosividad

La F.A.O. (1967), indica la erosividad como un índice numérico, que expresa la capacidad de la lluvia que ocasiona la erosión del suelo; donde las pérdidas de suelos ocasionadas por las lluvias son directamente proporcionales al valor de dos características de lluvia que son la energía cinética y la intensidad de la lluvia respectivamente.

Por su parte Hudson (1971), se refiere a la erosividad como al potencial de la lluvia para causar erosión, que a su vez está en función de las características de la lluvia independientemente del factor del suelo. Por otra parte, el poder erosivo de la lluvia tiene dos aplicaciones principales, que en la práctica permiten mejorar el diseño de construcciones para la conservación del suelo e incrementa algunos conocimientos sobre la erosión del suelo.

Por otro lado la F.A.O. (1983), reporta que la erosividad de la lluvia es un factor que determina la erosión del suelo por el agua, que depende de la intensidad y la duración, que a medida que aumenta la intensidad de las lluvias aumenta el tamaño de las gotas de agua, y desalojan más las partículas del suelo.

Según Wischmeier (1959), citado por Becerra (1994), la erosividad se define como el producto de dos características de la lluvia tempestuosa: la energía cinética total de la lluvia (E_c) y la intensidad máxima en treinta minutos (I_{30}).

2.8.2. Erodabilidad

El reconocimiento de las variables que intervienen en el proceso de la escorrentía y la degradación de los suelos nos permite facilitar ciertos conocimientos dentro de estos fenómenos. La (F.A.O. 1967), refleja la erodabilidad, al hecho, de que los diferentes suelos se erosionan con una velocidad distinta según sus propiedades físicas del suelo, como, la textura, estabilidad estructural, tipo de arcilla, contenido de materia orgánica y otros.

La erodabilidad del suelo según Hudson (1971), se refiere específicamente a la susceptibilidad o la resistencia del suelo a la erosión, la cual depende de ciertas propiedades del suelo, es decir, del tipo edáfico y por otra parte a los tratamientos a las que se halla sometido.

Alegre (1979), señala que la medida cuantitativa de la resistencia de los suelos a la erodabilidad, es efectuada en base a las propiedades del suelo sujetos a medición; esta evaluación sin embargo presenta dificultades incluso en un mismo tipo de suelo que puede variar de un lugar a otro.

Por su parte Suárez de Castro (1982), señala que la determinación de la susceptibilidad relativa de los suelos a la erosión, a través del índice de erodabilidad, permite calcular con bastante precisión los tratamientos de protección según la susceptibilidad de cada suelo.

Según Becerra, (1994), la erodabilidad se define como la tasa de pérdida de suelo por cada unidad adicional de la energía cinética por la intensidad máxima en treinta minutos (EI_{30}) cuando los factores: longitud y gradiente de la pendiente, manejo y cobertura del cultivo y prácticas de conservación (LS, C, y P), permanecen constantes. Se usa para indicar la susceptibilidad de un suelo a ser erosionado.

2.9. Factores que determinan la erosión hídrica

2.9.1. Características de la lluvia

3.9.1.1. Cantidad de lluvia

Hudson (1971), indica que la cantidad de lluvia puede dar lugar en diferentes circunstancias a intensidades de erosión muy diversas, de manera que se requieran otras medidas más específicas para describir la capacidad erosiva de la lluvia; otro aspecto que se debe considerar es la efectividad de la lluvia en su distribución durante el año.

Suárez de Castro (1982), señala la importancia en cifras de la precipitación ya sea anual o mensual, que significan poco con relación a la erosividad de la lluvia para producir escorrentía y erosión del suelo. El mismo autor indica que la cantidad de lluvia determina una mayor o menor erosión de los suelos. A mayor cantidad de lluvia mayor será la erosión.

Al respecto Weindenbasch (1983), afirma que las precipitaciones de corto intervalo son los que tienen mayor significado para el efecto de la escorrentía y la erosión, para la cual es necesario establecer los datos de precipitación diaria y hasta por horas, que tiene un gran significado en la determinación de este fenómeno.

Por su parte Ferreira (1984), reporta que todas las lluvias siempre causan los mismos daños, pero sus efectos varían según la cantidad de precipitación que caen en un determinado

tiempo, así una lluvia de cien milímetros por hora ocasionará mayor estrago, que otra que cae en 24 horas respectivamente.

2.9.1.2. Intensidad

La F.A.O (1967), menciona que la intensidad es como la lámina de agua que cae por unidad de tiempo expresada en milímetros por hora (mm/h), y que tiene su estrecha relación con los fenómenos de escorrentía y erosión del suelo.

Por su parte Hudson (1971), indica que existe una asociación entre la erosión y la intensidad de la lluvia, que tiene su importancia como un parámetro potencial de la erosividad.

Fournier (1975), señala que la intensidad de la precipitación aparece como un factor primordial, que regula la erosividad de las lluvias, puesto que la velocidad de la infiltración del agua en el suelo es insuficiente para asegurar la infiltración del volumen, especialmente cuando cae con gran intensidad.

El Colegio de Postgraduados de Chapingo (1982), reporta la intensidad, como una altura de la precipitación expresada para un intervalo de tiempo, que tiene su importancia, ya que las lluvias con altas intensidades en cortos periodos, presentan una mayor actividad erosiva de los suelos e incrementa los volúmenes de escorrentía.

Martínez (1983), señala que para estimar la pérdida del suelo, es necesario conocer la intensidad de la lluvia por evento y obtener su energía cinética de cada una de ellas.

La F.A.O. (1983), relaciona la intensidad de la lluvia con el tamaño de las gotas de agua, que aumentan de tamaño a medida que se incrementa la intensidad de la lluvia que golpean el suelo con más fuerza, especialmente cuando el suelo está desprovisto de una cubierta vegetal, por lo tanto habrá mayor escurrimiento y arrastre del suelo.

La fuerza con que cae una gota de lluvia (energía cinética) a mayor intensidad la erosión de las partículas será mayor (Kirkby y Morgan 1984).

2.9.1.3. Duración

Schultz (1979), señala que la duración depende del tiempo que cae una precipitación, si son más frecuentes pueden provocar mayores problemas de erosión del suelo, especialmente si coincide con el periodo de menor protección del suelo.

Según Suárez de Castro, (1979), a mayor tiempo de duración de lluvia será mayor la erosión del suelo. La cantidad de movimiento y energía cinética, las interacciones del tamaño, velocidad y forma de las gotas de lluvia, la duración de la tormenta y la velocidad del viento controlan la fuerza erosiva de la precipitación pluvial. A medida que las gotas de lluvia aumentan en tamaño, su velocidad final aumenta.

Para Suárez de Castro (1982), la duración de la precipitación es el complemento de la intensidad, la asociación de estas dos variables determina la precipitación total, normalmente mientras mayor sea el tiempo que dura una precipitación de intensidad uniforme, la escorrentía tiende a ser mayor.

Por su parte la F.A.O. (1983), reporta que la duración incide en el proceso de la erosión; lluvias recias persistentes de gran duración, desalojarán más tierra, que varias lluvias breves, especialmente si se trata de suelos relativamente impermeables.

2.9.2. Características edáficas

2.9.2.1. Físicas

a) Textura

Ayres (1960), manifiesta que un suelo de textura uniforme, permite una mayor infiltración de agua en el suelo; por otra parte es muy frecuente encontrar suelos que presentan una textura que aflora en la superficie que son relativamente impermeables, lo cual permite una mayor escorrentía y erosión.

Entre tanto la F.A.O. (1967), señala que el escurrimiento superficial y por consiguiente la erosión son menores en los suelos de textura fina, pero en los suelos compactos se forma una película de agua, tal que las gotas de lluvia desprenden pocas partículas que en este caso el escurrimiento es considerable, pero la erosión es menor. La infiltración es mayor en los suelos livianos por tanto será mayor la erosión, en cambio en los suelos de textura pesada existe menor infiltración y menor será la erosión.

Por su parte Schultz (1979), indica que en los suelos de textura arenosa, existe una mayor pérdida de suelo por la erosión y una menor escorrentía, con respecto a un suelo arcilloso.

Suárez de Castro (1982), menciona a la textura, como la cantidad relativa de las partículas de suelo de diversos tamaños, que desde ese punto de vista, los suelos más ventajosos son de textura intermedia que minimizan los inconvenientes de escorrentía y la erosión.

Al respecto Ferreira (1986), manifiesta que los suelos arenosos ofrecen poca resistencia al arrastre de suelo por la escorrentía a pesar de una mayor infiltración de agua de lluvia, con respecto a un suelo arcilloso donde existe mayor escurrimiento y menor arrastre de suelo, debido a una mayor cohesión de partículas en este tipo de suelo.

b) Estructura

Domínguez (1975), asevera que la estructura más deseable en la superficie es la migajosa, por su mayor porosidad y la resistencia que tiene a la acción de la lluvia, en menor grado está la granular y la poliédrica respectivamente.

Alegre (1979), señala que la estructura del suelo es una de las propiedades más importantes en la erosión del suelo que determina la cantidad de agua que pueda infiltrarse en el suelo, asimismo la resistencia de las partículas del suelo al impacto de las gotas de lluvia y su transporte por el agua de escorrentía.

La estructura del suelo según Suárez de Castro (1982), toma importancia en la conservación de suelos, por la forma como se unen y se ordenan las partículas primarias del suelo, que determinan en gran parte la facilidad de la permeabilidad, su resistencia a la erosión y las condiciones que ofrece para el crecimiento de las raíces de las plantas, también tiene su efecto primordial en la determinación de la erodabilidad del suelo.

La estructura del suelo laminar es la que tiene mayor erodabilidad a comparación de un suelo con estructura granular. (Kirkby y Morgan 1984).

c) Estabilidad estructural de los agregados

Según la F.A.O. (1967), el mecanismo de la formación de los agregados, depende del contenido de arcilla, de los cationes bivalentes y la desecación, que consiste en la unión de la arcilla y la materia orgánica mediante puentes de cationes bivalentes, mientras los monovalentes no enlazan sino dispersan las partículas del suelo.

Al respecto Fournier (1975), manifiesta que el contenido de materia orgánica y la relación de arcilla-limo, son dos factores importantes de la estabilidad estructural de los suelos; sin embargo, está regulada por la retención de la humedad y la composición química del suelo respectivamente. El mismo autor indica, que la estabilidad estructural de los suelos arenosos es

débil y pobre en coloides comparada con un suelo arcilloso, ya que pierden preferentemente al principio de la erosión su fracción coloidal.

Por su parte Alegre (1979), manifiesta, que la estabilidad de los agregados es importante, desde un punto de vista de liberación de las partículas finas de arcilla y limo, las cuales pueden ser lixiviados en los espacios porosos más gruesos de la estructura, ocasionando así un decrecimiento de la conductividad hidráulica.

d) Capacidad de infiltración y permeabilidad del suelo

Worthen y Aldrich (1967), mencionan que la capacidad de infiltración del suelo, es la clave para que el agua de lluvia escurra sobre la superficie del suelo que depende de cuatro factores: la porosidad, humedad del suelo, permeabilidad y el grado de dilatación de los coloides del suelo humedecido.

La F.A.O. (1967), indica que la velocidad de infiltración es alta en un suelo seco, pero a medida que el suelo se humedece la velocidad de infiltración disminuye hasta que alcanza una velocidad de equilibrio, que depende de ciertas características del suelo sobre todo de la textura y estructura.

Por su parte Hudson (1971), indica a la capacidad para conducir el aire y agua, que no debe confundirse con la tasa de infiltración; desde un punto de vista cuantitativo, la permeabilidad es el caudal que atraviesa por una unidad de tiempo como una reacción transversal del suelo superficial saturado bajo un gradiente hidráulico.

Por su parte Suárez de Castro (1982), se refiere como el drenaje interno del terreno que se expresa en unidades de agua que pasa a través de un suelo saturado que determina la permeabilidad del perfil del suelo incluyendo la profundidad efectiva; por otra parte la superficie del suelo sufre con frecuencia una disminución en su permeabilidad, debido al desprendimiento y deposición de las partículas coloidales, que las lluvias ocasionan especialmente en terrenos sin vegetación.

2.9.2.2. Químicos

a) Floculación

Según Vásquez, (2000), en un suelo con mayor floculación la erosión hídrica será menor porque las partículas no están en movimiento. En un suelo defloculado las partículas del suelo están individualmente en suspensión, sin interacción entre las partículas. Por su parte, (Espinoza, 2003), menciona que, cuando existe floculación todas las partículas están en contacto, la resistencia a la erosión es mayor y firme estabilidad del suelo.

b) Acidez del suelo

En el rango del pH igual a 7 hasta 8.5 la erosión hídrica es menor, sin embargo en un suelo con pH mayor a 8.5 la erosión hídrica es mayor (Vásquez, 2000).

c) Materia Orgánica

La materia orgánica, mejora la fertilidad del suelo, al aumentar su capacidad para retener e intercambiar los nutrientes; así el suelo pierde menos nutrientes por acción de la lixiviación; optimiza las condiciones del suelo al aumentar la granulación de las partículas y mejorar la porosidad y la circulación del aire y agua. (Manual Agropecuario, 2004).

2.9.2.3. Biológicos

A mayor población radicular existe una mayor actividad microbiana y como consecuencia de éste la agregación y la estructura del suelo es mucho mejor (Vásquez, 2000).

2.10. Longitud y grado de pendiente en erosión hídrica

Por su parte Ayres (1960), señala que la pendiente del suelo afecta la escorrentía imprimiéndole la velocidad de acuerdo a la caída de los cuerpos; cuanto más fuerte sea la pendiente, menor será el tiempo disponible para la absorción del agua y más rápida será la escorrentía, haciendo algunas consideraciones teóricas se puede decir que están sujetas a las leyes de la hidráulica.

Worthen y Aldrich (1967), indican que las laderas con pendientes fuertes producen de un modo general mas escorrentía y mas erosión, por el hecho de que el agua que corre a lo largo de la pendiente de la superficie no puede infiltrarse, por lo tanto, cuanto mayor sea la pendiente más rápido será el escurrimiento y el efecto erosivo del agua en cierto punto es proporcional al cuadrado de su velocidad.

Hudson (1971), menciona que la cantidad de erosión del suelo es proporcional a la pendiente, de igual forma la escorrentía será mayor y avanzará con rapidez según el grado de la pendiente.

Suárez de Castro (1982), manifiesta que la erosión por el agua no es un problema en zonas planas, las pérdidas de suelo comienza a adquirir importancia en los terrenos que tiene una topografía accidentada, que a su vez, depende de la velocidad con que ésta fluye como resultado de la longitud y el grado de pendiente especialmente en terrenos bajo cultivo.

Según Millar, Turk, Foth, (1961), citado por Suárez de Castro (1982), mientras más pronunciada es la pendiente, más rápidamente fluye el agua sobre la superficie del suelo, la capacidad de arrastre del agua aumenta muy rápidamente cuando el flujo aumenta su velocidad; la cantidad de suelo transportada por el agua en plena corriente es también mucho mayor, que el agua que transporta en movimiento lento; las pendientes muy largas pero de moderado declive pueden sufrir más erosión que las pendientes pronunciadas pero cortas.

Kirkby y Morgan (1984), definen la pendiente, como la deformación de la superficie del suelo “fisiografía”, además como un factor importante, que determina la eficacia de la erosión, a mayor longitud y a un grado mayor de la pendiente, mayor será la tasa de erosión del suelo.

Benza (1988), indica que el poder de la escorrentía superficial en las laderas se acrecienta con la inclinación del terreno; con pendientes largas y pronunciadas la velocidad y energía son mayores; para frenar dicha corriente es necesario establecer cortes en la pendiente con la construcción de terrazas de absorción que son efectivas en el control de la erosión, especialmente cuando las pendientes se hallan entre 20 y 40% de inclinación.

Torres Ruíz (1984), citado por García (1993), respecto a la pendiente señala que términos muy generales que la pendiente afecta al escurrimiento en la forma siguiente:

Pendiente de 0 a 5%. Agua estancada o escurrimiento muy lento, la mayor parte del agua se percola o se evapora.

Pendiente de 5 a 10%. Escurrimiento de lento a medio, hay agua superficial por periodos cortos, erosión leve.

Pendiente de 10 a 20%. Escurrimiento rápido, la mayor parte del agua se escurre en la superficie, solo una pequeña parte se infiltra, erosión media.

Pendiente de 20 a 35%. Escurrimiento muy rápido, casi toda el agua se escurre, erosión severa.

Pendiente más del 35%. Se mueve tan rápido como se precipita al suelo, erosión muy severa.

2.11. Cobertura vegetal

Según Ayres (1960), resume la acción de las plantas contra el fenómeno de la escorrentía y erosión en los siguientes puntos:

- Dispersión directa por la intercepción del follaje y evaporación de las gotas de lluvia, que en esa forma no llega al suelo.
- Transpiración a través de los tejidos en grandes cantidades de humedad que pasan de estratos profundos al aire.
- Protección directa contra el impacto de las gotas de lluvia.
- Penetración de las raíces a través del perfil del suelo las cuales al descomponerse aumentan la infiltración y mejora la aeración del suelo.
- Mejoramiento de la estructura del suelo.
- Aumento de la fricción superficial y dispersión lateral de la escorrentía que reduce su volumen y velocidad.

Según el Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos (1974), citado por García (1993), indica que, cualquier vegetación se considera como un cultivo de cobertura *antierosiva*, siempre que proteja bien el suelo contra los efectos de erosión.

Suárez de Castro (1979), indica que la cobertura vegetal es la mejor defensa natural de un terreno contra la erosión, toda planta desde la más minúscula hasta el árbol más corpulento, protege el suelo de la acción perjudicial de las lluvias, en forma y proporción diferente.

Según Kirkby y Morgan (1984), indican que, una parte del agua es interceptada por la vegetación y se evapora hacia la atmósfera; el resto escurre o fluye por los tallos de los árboles

hacia el suelo. Cuando las gotas de lluvia chocan contra la vegetación la energía de las gotas se disipa y no hay impacto directo sobre la superficie del suelo.

El mismo autor indica que las gotas que caen sobre las hojas forman una superficie burda, impiden y reducen la velocidad del agua corriente y las raíces consolidan el suelo, la remoción continua de las hojas a causa del pastoreo y debilita el sistema radicular debido a deficiencias en el transporte de carbohidratos fotosintetizados que son necesarios para asegurar el crecimiento de las raíces. En los campos arables la erosión disminuye a menudo que el cultivo se vuelve más denso, y esta disminución es más marcada cuando las plantas cubren más del treinta por ciento de la superficie.

Según Stallings (1962), durante muchos años, sabíamos que el suelo protegido con una cubierta vegetal no sufría erosión, pensábamos que las raíces de la planta amarraban el suelo y que los tallos disminuían la rapidez de la corriente de superficie, pero no sabíamos que la cubierta vegetal protegía también el suelo recogiendo las gotas de lluvia. Cuánto más cubierto está el suelo, tanta menos pérdida se experimentaba. Además asevera que:

- Las ramas, las hojas y el verde lecho, así como las partes de las plantas muertas, interceptan o recogen las gotas de lluvia, rompiendo la fuerza de estas y facilitando que se acomoden a la superficie como agua clara.
- Debido a que la lluvia no hace contacto directo con la superficie del suelo, pierde de este modo su energía y su efecto erosivo, de esta manera la capa superior del suelo no es dañada, pues el agua clara penetra libremente a través de dicha superficie.
- La cubierta vegetal pobre da menos protección al suelo y aumenta por tanto los daños de la erosión de las corrientes en los terrenos de pastos.
- La efectividad de la cubierta vegetal para prevenir la erosión depende de la cantidad presente y su buena distribución sobre la superficie del suelo.

- Las plantas bajas que crecen gruesas, como la mayoría de las hierbas y muchos tréboles, son más efectivas que las plantas que crecen más altas., como el trigo y la avena y a su vez éstas más efectivas que el maíz o el algodón.

Por otro lado Mela Mela (1963), manifiesta que no toda el agua de la lluvia llega a la superficie del suelo, sino que una parte es detenida por el follaje existente, especialmente cuando las hojas son rugosas que están distribuidos horizontalmente e interceptan mejor las gotas de la lluvia.

La F.A.O. (1967), señala que las probabilidades de erosión son mayores en una cubierta de cultivos, con respecto a las praderas y bosques, a consecuencia de la preparación del terreno para siembra, lo cual hace que se disgregue fácilmente las partículas del suelo, por otra parte la distancia entre plantas hace que gran parte del suelo quede desnudo, hasta que las plantas adquieran un desarrollo suficiente para protegerlo.

Hudson (1971), menciona que la cantidad de plantas que cubren el suelo, los estadios de crecimiento de cada cultivo y el nivel de fertilidad del suelo influyen en la escorrentía y en la erosión del suelo.

Espinoza (1974), citado por Sivila (1990), señala que toda lluvia que no exceda de 2 mm de lámina es interceptada en su totalidad por cualquier tipo de vegetación, pasado este límite la intercepción disminuye según la intensidad de la lluvia, tipo de vegetación, constitución y las características de las hojas.

2.12. El hombre

Según Stallings (1962), casi toda nuestra erosión es causada por el hombre, la tierra cultivada o sobre-pastoreada por nuestros primeros colonizadores, sufrieron la erosión; el hombre origina grandes cantidades de arena, limo y grava o cascajo, las cuales son llevadas de los campos a los sistemas de corrientes vaciadas luego en los niveles más bajos; eso no es todo,

las pérdidas sobre el terreno cultivado afecta a todos nosotros, pero, la tragedia de la erosión es que nosotros no podemos recobrar, ellas se han ido para siempre.

Según Becerra, (1994), el hombre reconoce el valor irremplazable de un suelo como medio de producción para la subsistencia de la humanidad, pero la vulnerabilidad al abuso o descuido, quizá solo reconocen los especialistas. El sobrepastoreo, deforestación, manejo inadecuado, dificultad para admitir innovaciones, falta de información técnica, tenencia de tierras y sobre todo la presión demográfica, son algunas de los factores que aceleran la erosión.

2.13. Las lluvias torrenciales en erodabilidad de los suelos

Según Millar, Turk y Foth (1961), citado por Suárez de Castro (1982), las lluvias torrenciales generalmente caen en un periodo de tiempo corto, bajo estas condiciones ningún suelo puede absorber la lluvia tan rápidamente como cae, por lo tanto un elevado porcentaje de ella corre por la superficie, aun en suelos de textura arenosa. Una precipitación elevada en áreas de topografía ondulante ofrece condiciones ideales para la erosión.

Las lluvias torrenciales actualmente son consecuencia del cambio climático, es el doble de rápido de lo que se había pronosticado hasta ahora, estas mismas en periodos tan cortos pueden producir inundaciones, erosión y otros daños. (www.wordreference.com/.../torrencial).

Las aguas calientes son potencialmente más propensas a liberar gran cantidad de calor y humedad que han almacenado por el calentamiento solar que otras aguas más frías de latitudes superiores. La sensación que se transmitía era muy simple: como la temperatura es muy elevada, las lluvias otoñales iban a ser torrenciales. La presencia de aguas más cálidas de lo normal en el Mediterráneo, es un importante factor que puede contribuir a la presencia de lluvias torrenciales y persistentes. (www.publico.es/ciencias/.../lluvias/torrenciales).

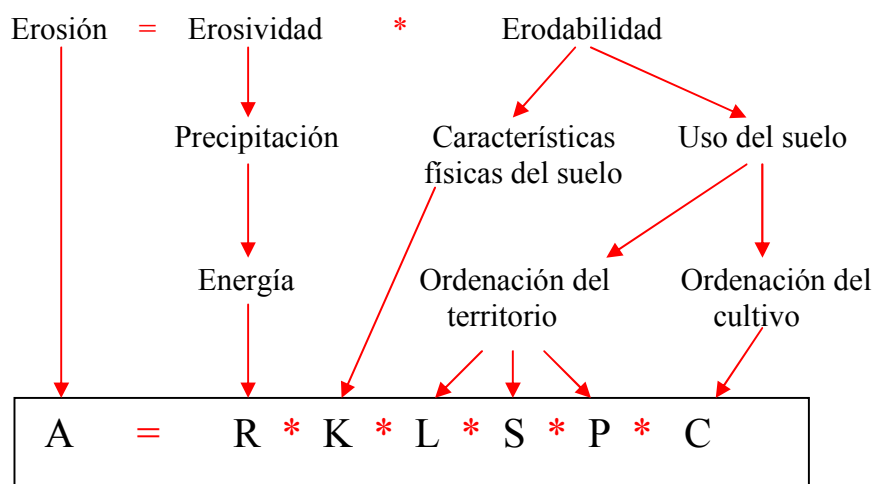
2.14. Métodos experimentales para la determinación de la erosión hídrica

La estimación de pérdidas de suelo, representa una importante herramienta a los efectos de la planificación del uso y manejo de la tierra, en el marco de la gestión ambiental. Para su posterior aplicación en los procesos de planificación del uso de la tierra en forma clara, ordenada y además, viable económicamente. (www.documentos/MA1/erosión.pdf).

2.14.1. Métodos indirectos.

La mayor parte de los modelos usados en estudios de erosión del suelo, son de tipo paramétrico, basándose así en la definición de los factores más importantes en su medición y en su relación con las pérdidas de suelo, mediante empleo de técnicas estadísticas. Dentro de los modelos de tipo paramétrico, se destaca, la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (EUPS), dada su extendida aplicación a lo largo y ancho del mundo, aunque de mayor importancia en Norteamérica donde tuvo origen.

La ecuación está en función de dos procesos: Erosividad y Erodabilidad



Donde: A = Pérdida de suelo por unidad de superficie (kg/ha/año).
 R = Factor de erosividad por precipitación pluvial.
 K = Factor de erodabilidad del suelo.

L = Factor de longitud de pendiente.

S = Factor de grado de pendiente.

P = Factor de prácticas de conservación de suelo.

C = Factor de cultivo.

Sin embargo, es claro que su obtención depende en buena medida, de la información recolectada en experimentaciones de campo y tales modelos no son por ello, de carácter estático, sino mejor configuran un cierto dinamismo, conforme se adquieren nuevas comprensiones del fenómeno, que se integran a los modelos obtenidos.

2.14.2. Métodos directos

La estimación de pérdidas de suelo, implica el montaje de ensayos en campo con mediciones frecuentes o periódicas; las técnicas para su estimación son muy variadas, en función de ello lo es asimismo su confiabilidad. A continuación se mencionan y describen algunos de los métodos directos de mayor sencillez y empleo extendido, para la estimación de pérdidas de suelo promovidas por el agua. (www.documentos/MA1/erosión.pdf).

2.14.2.1. Medición de variaciones del nivel superficial

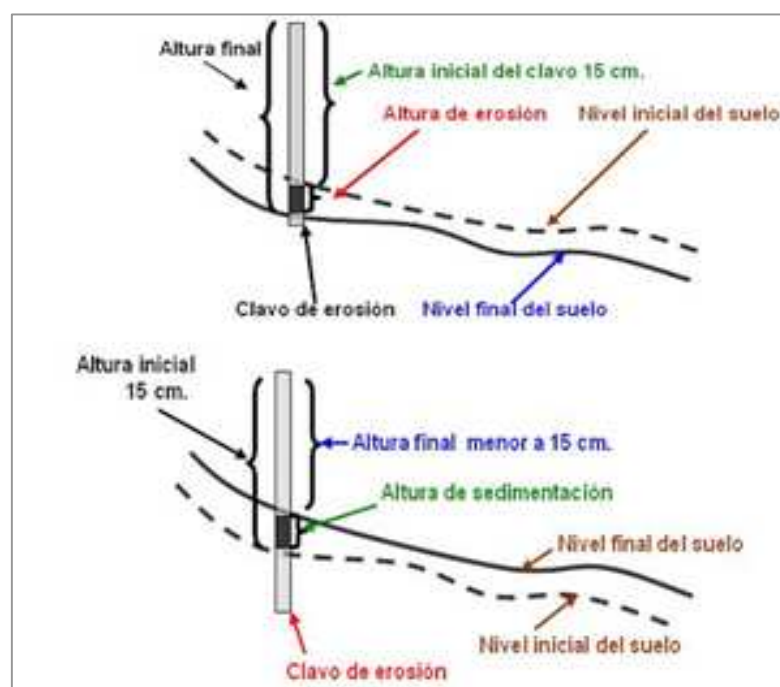
Las técnicas basadas en el registro de los cambios en el nivel de la superficie del terreno, son especialmente útiles cuando se trata de pérdidas de suelo elevadas o cuando éstas se encuentran concentradas en áreas relativamente pequeñas. Se trata de técnicas de registro volumétrico, mediante las cuales son medidas las variaciones de la microtopografía del terreno, producto de los procesos de agradación (acumulación) y degradación (pérdida).

a) Estacas de erosión

El método más ampliamente utilizado es el de las “estacas de erosión”. El empleo de clavos de acero de 30 cm de longitud, de tal forma que las diferencias de altura entre la parte

superior del clavo y el nivel del suelo, representan el nivel de pérdidas de éste. Con respecto a su grosor y forma, se destaca que éstas deben ser lo más delgadas posible, en atención a las alteraciones potenciales sobre las corrientes locales, al presentarse obstáculos sobre el terreno, sugiriéndose además que sean lisas en su superficie. (Chinen 1987), quien empleó estacas de 1 cm de diámetro y 50 cm de longitud, para registrar el descenso del nivel del piso tras la ocurrencia de un incendio forestal. (www.unalmed.edu/art/erosión.pdf).

Figura 1. Diseño de método de estacas de erosión



Fuente: Chinen, (1987).

El método se destaca por su sencillez, comodidad y economía, en el monitoreo de procesos erosivos y de interrelaciones planta-suelo a nivel superficial; así por ejemplo, en el caso de cárcavas, su evolución en profundidad puede ser rastreada a través del clavado de estacas con arandelas en su fondo o lecho, conforme sea cubierta o descienda aquella.

2.14.2.2. Medición de la escorrentía superficial

Dentro de los métodos más comúnmente empleados para la medición de la escorrentía superficial, se pueden mencionar 2 métodos necesarios para estimar las pérdidas de suelo por escurrimiento superficial directamente en campo. (www.documentos/MA1/erosión.pdf).

a) Parcelas de escorrentía.

Son porciones de terreno de tamaño variable, limitadas por paredes que aíslan completamente el agua de escorrentía, evitando el paso de ésta tanto hacia afuera como hacia adentro de la parcela. El agua que escurre es dirigida hacia el final de la parcela por medio de un canal, pasa a uno o varios tanques donde se recolectan las muestras para el análisis.

Su tamaño frecuente es de (2 x 22 m); así, (Morgan 1986) indica unas dimensiones de 22 m de largo por 1,8 m de ancho, aunque otros tamaños de parcelas son utilizados, sin embargo se sugiere la adopción de una longitud mínima de 10 m para la evaluación de la escorrentía superficial, pudiendo ser sustancialmente mayor en el caso de evaluaciones relativas a prácticas de conservación y cultivo. (www.unalmed.ed./art/erosión.pdf).

Según Kirkby y Morgan (1984), las parcelas o lotes de escorrentía constituyen uno de los métodos más precisos para cuantificar la pérdida de suelo bajo diversas condiciones de manejo.

b) Cajas Gerlach

Algunos de los problemas asociados a la utilización de parcelas de escorrentía, son superados mediante el empleo de cajas Gerlach (artesas Gerlach); dada su simplicidad y bajo costo, pueden usarse en un gran número de sitios seleccionados en un área extensa, siendo apropiadas para estudios de erosión a una escala de cuenca hidrográfica (Morgan, 1986). Mediante las cajas Gerlach pueden ser recogidos tanto flujo como sedimentos en pendientes,

áreas abiertas o superficies delimitadas. En el caso de parcelas abiertas de escorrentía, las mediciones pueden ser tomadas directamente si las líneas de flujo corren en su mayor parte, en sentido paralelo a las líneas de la ladera. (www.documentos/MA1/erosión.pdf).

Las longitudes de las bandejas mayormente empleadas son de 0,5-1,0 m. Para su colocación en campo, el dispositivo se fija al horizonte A de la pendiente por medio de un saliente de metal, protegiéndose de la erosión por dispersión a través de una tapa móvil; el flujo y el sedimento se drenan por medio de mangueras plásticas. Se recomienda la disposición de una malla plástica de 2 mm de luz al interior de la caja, para la retención de materiales gruesos.

Con las muestras recogidas, pueden ser determinados las pérdidas de suelo en peso y volumen; el volumen de escorrentía; la tasa de infiltración (siempre y cuando se cuente con información pluviográfica); y las pérdidas de elementos minerales. Una de las principales limitaciones para el empleo de cajas Gerlach bajo coberturas vegetales, es la aceptación de ocurrencia de un flujo paralelo a las líneas de pendiente, dado que en condiciones de campo, la vegetación y muchos obstáculos sobre la superficie desvían los flujos superficiales de agua. (www.documentos/MA1/erosión.pdf).

2.14.2.3. Medición de la erosión por salpicadura

La erosión por salpicadura es originada por la caída de las gotas de lluvia sobre el suelo, y es de gran importancia dada su participación dentro del fenómeno de la erosión hídrica, se estima que el 70% del total de suelo removido, se debe a la acción de la salpicadura. Su impacto está en función de la forma y tamaño de las gotas (erosividad), y de la resistencia del suelo a su poder erosivo (erodabilidad). (www.documentos/MA1/erosión.pdf).

2.14.2.4. Método de las chapas

Este método solo es aplicable en zonas de escasa vegetación, como en áreas de suelos desnudos empleados en actividades agrícolas. La idea es colocar tapas de refresco al revés,

enterrándolas a ras del terreno. Se deben seguir una cuadrícula con distancias no muy amplias como para obtener valores más exactos, por ejemplo, cada 5 metros. Después de ocurrido un aguacero se acudirá a la zona y se medirá la altura del pedestal formado por debajo de cada chapa, se determina el promedio de la altura de los pedestales y por último se multiplica por el área de la zona en estudio. (www.unalmed.edu/art/erosión.pdf).

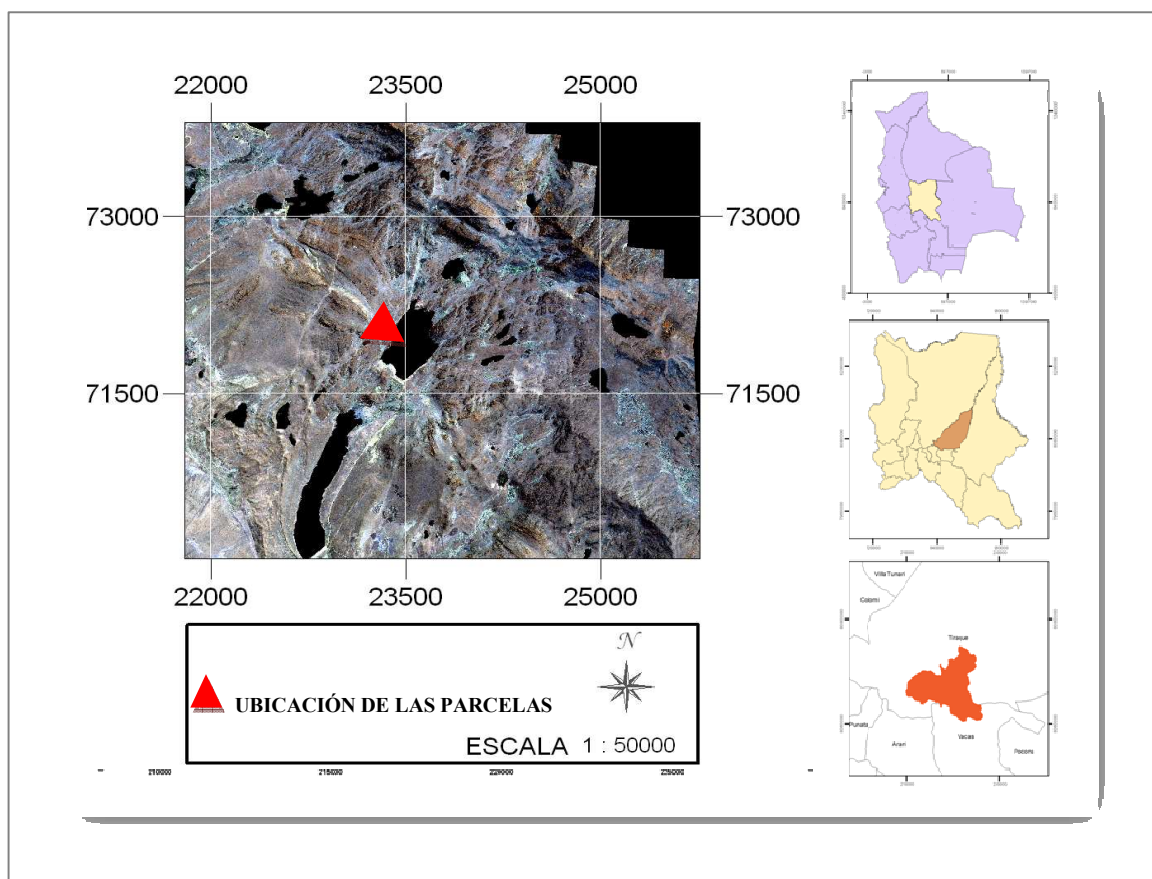
III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Descripción de la zona de estudio

3.1.1. Localización

El área de estudio se encuentra bajo la jurisdicción del municipio de Tiraque, en la Provincia Tiraque del departamento de Cochabamba, localizado aproximadamente a 75 km. de la ciudad de Cochabamba. El Municipio tiene como límites al Norte y al Oeste la Provincia Chapare, al Sur la Provincia Arani y al Suroeste la Provincia de Punata. (Ver mapa 1).

Mapa 1. Mapa de ubicación de la zona de estudio.



Fuente: Elaboración propia, (2008).

La zona de estudio se encuentra en la localidad de “Villa Flores” al Noreste del centro poblado más importante de Tiraque, cercana a la cadena montañosa que separa a la Zona de Puna con la Zona Tropical de la Provincia, circundante a la laguna Kewiña Kocha. La altura promedio es de 4000 m.s.n.m., presenta un relieve ondulado, con pendientes moderadas a fuertemente empinadas en una región representativa de la pradera Alto-Andina, húmeda, rodeada de algunos remanentes de glaciación, bofedales y turberas. La ubicación geográfica se muestra en el cuadro 1.

Cuadro 1. Ubicación geográfica del ensayo.

Zona de ensayo	Latitud Sur	Longitud Oeste
Villa Flores	17°25'74''S	65°36'13''W

Fuente: Elaboración propia, (2008).

La zona de estudio está limitada al Este con la localidad Boquerón Alto, al Oeste con Sankayani, al Norte con Koari y al Sur con Cañacota; por tanto existe alguna variación entre el clima y la biodiversidad.

3.1.2. Clima

De acuerdo a los datos meteorológicos, el clima de la zona de estudio es generalmente frígido, sub-húmedo, el ciclo climático está marcado por dos épocas: una seca y fría, entre los meses Abril a Septiembre y otra lluviosa de Octubre a Marzo.

Normalmente existen cambios de temperatura bruscos, con heladas en las noches y madrugadas, en los meses de Junio y Julio; algunos años ocurren heladas tardías en los meses de Agosto, Septiembre y heladas tempranas en los meses Enero, Febrero y hasta Marzo. Tiene una temperatura media anual de 10,02 °C. Siendo la máxima de 19,66 °C y la mínima de -3,15 °C en la época de invierno. (Chino, 2002).

3.1.3. Vegetación

La vegetación natural está compuesta por diferentes especies: predominan las gramíneas, la presencia arbustiva y de herbáceas nativas es escasa. Indicaremos algunas de ellas como el Ichu (*Stipa ichu*), Ch’illca (*Tessaria absinthiodes*), T’ola (*Baccharis microphylla*), Muña (*Satureja boliviana*), y hierbas como Nabo silvestre (*Brassica campestry*), Garrotilla (*Nasella poliflora*), Malva común (*Malva silvestris*), Muni (*Bidens pilosus*) y otros.

3.1.4. Suelo

Los suelos de la zona son de profundidad variable: van de menos de 50 cm. a más de 1.5 m, su estructura presenta bloques sub-angulares, tienen alto contenido de materia orgánica, bien drenados y presencia de afloramientos rocosos en la superficie. En la zona existe la evidencia de erosión laminar y más aún la erosión en surcos, la zona de estudio está sometida a una inclinación no mayor a 7% de pendiente. Según el análisis físico de suelos, tiene una textura franco a franco arcilloso.

Cuadro 2. Análisis físico - químico de suelos.

PROCEDENCIA	ZONA ALTA - TIRAQUE – “VILLA FLORES”	
Nº Laboratorio	141	142
Estado actual	Nativo	Cultivo
Profundidad (cm)	0 - 30	0 - 30
TEXTURA	F	F
% Arcilla	20	22
% Limo	30	32
% Arena	50	46
% Materia orgánica	16,26	11,92

TEXTURA: F = Franco; Y = Arcilla; A = Arena.

Fuente: Laboratorio de Suelos y Aguas Facultad de Ciencias Agrícolas y Pecuarias - UMSS., (2008).

3.2. Materiales

Entre los grupos de materiales se tiene los siguientes:

- Material de información
- Material de campo
- Material de laboratorio
- Material de gabinete
- Material de transporte
- Material biológico

3.2.1. Material de información

Entre los materiales correspondientes a este grupo tenemos:

- Consultas a los agricultores de la zona (información primaria).
- Libros
- Tesis
- Internet
- Mapas

3.2.2. Material de campo

Entre este grupo de materiales se tiene:

- Una docena de turriles
- Una docena de baldes de 3 litros
- Un pluviómetro
- Plancha metálica galvanizada # 28 (2 m de largo por 0.30 m de ancho)
- Una cinta métrica de 5 metros
- Una pala

- Un azadón
- Una regla metálica de 50 cm.
- 3 marcadores
- 2 cuadernos
- 3 bolígrafos
- Un par de botas de agua
- Impermeable
- Un par de guantes de agua
- Una goma de sellar (silicona)
- 8 docenas de frascos
- Una cámara fotográfica
- Una cinta adhesiva

3.2.3. Material de laboratorio

Entre los materiales utilizados tenemos:

- Una probeta
- Una pipeta
- Una balanza electrónica de precisión
- Una estufa
- 18 paquetes de papel filtro
- 3 docenas de embudos
- 3 docenas de frascos de filtrar
- Un cuaderno
- 2 bolígrafos
- 2 marcadores
- 4 paquetes de bolsas de polietileno
- Una engrapadora

3.2.4. Material de gabinete

Entre los materiales tenemos:

- Una calculadora
- Un cuaderno
- Un computador
- Un dispositivo de almacenamiento de información (flash memory).
- Un marcador
- 2 bolígrafos
- Un paquete de hojas bond

3.2.5. Material de transporte

Entre los materiales que pertenecen a este grupo se tiene:

- Una motocicleta
- Combustible (gasolina)
- Herramientas (mantenimiento).

3.2.6. Material biológico

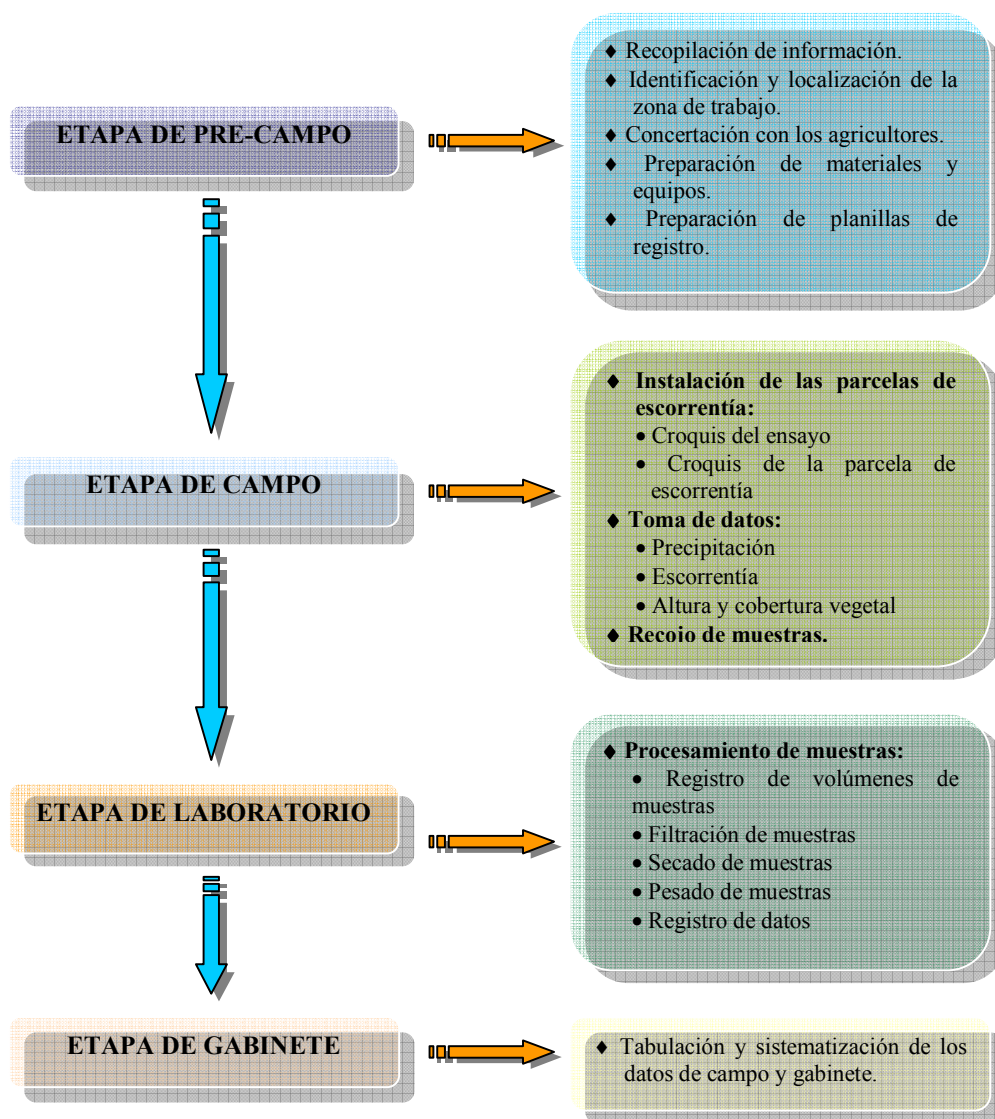
Entre los materiales tenemos:

- Una arroba de semilla de papa
- Insumos (62 kg. de gallinaza).

3.3. Metodología

La metodología considerada como la parte más importante de este trabajo de investigación, inició con la elección del método adecuado, de acuerdo a las condiciones naturales de la zona; esto permitió el desarrollo de las actividades para la determinación de la escorrentía y erosión que demandan los objetivos planteados. Para su explicación se desarrolló el siguiente flujograma:

Figura 2. Flujograma de metodología de procedimiento

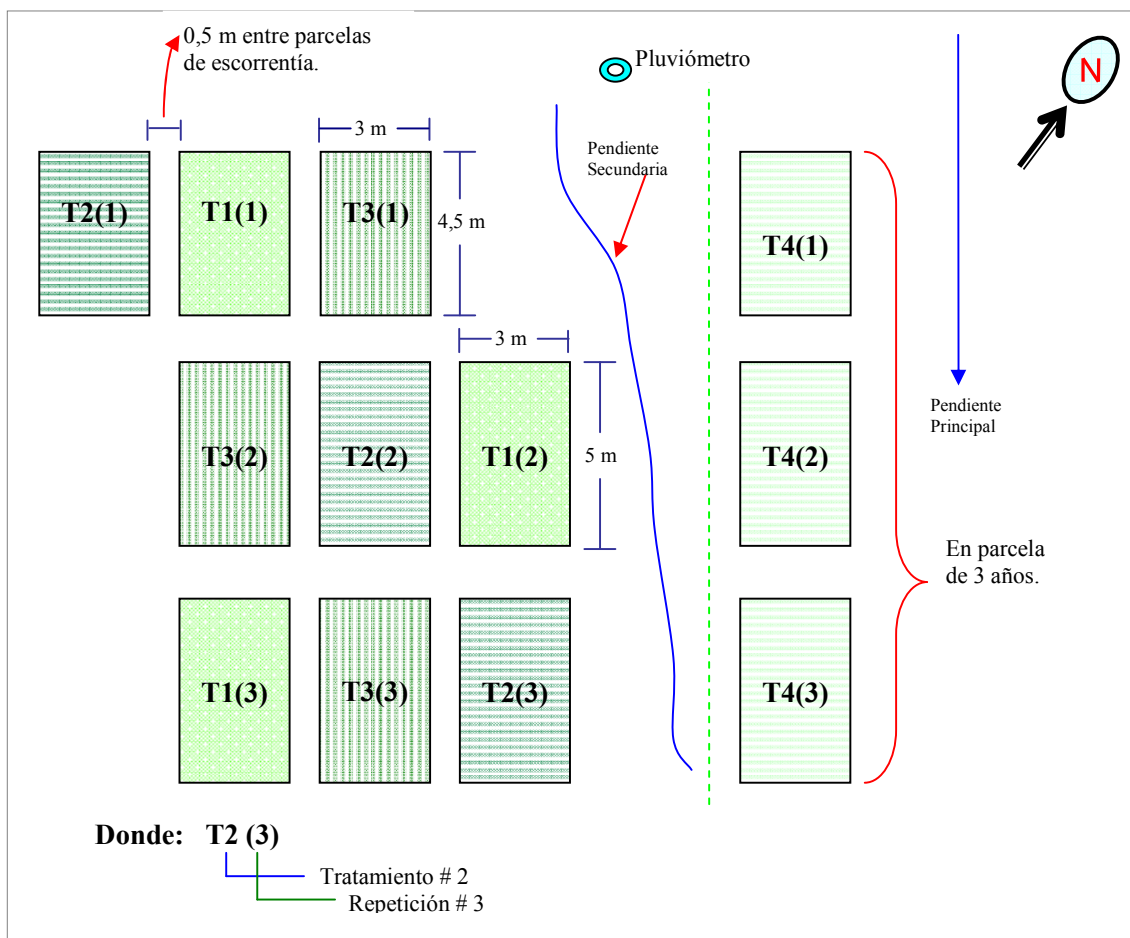


Fuente: Elaboración propia, (2008).

3.3.1. Etapa de pre-campo

En esta etapa se dedicó a la búsqueda y recopilación de información biofísico relacionado al trabajo de investigación, identificación y localización de la zona de trabajo, concertación con los agricultores de la zona, preparación de material requerido y preparación de planilla de registros.

Figura 3. Croquis del ensayo



Fuente: Elaboración propia, (2008)

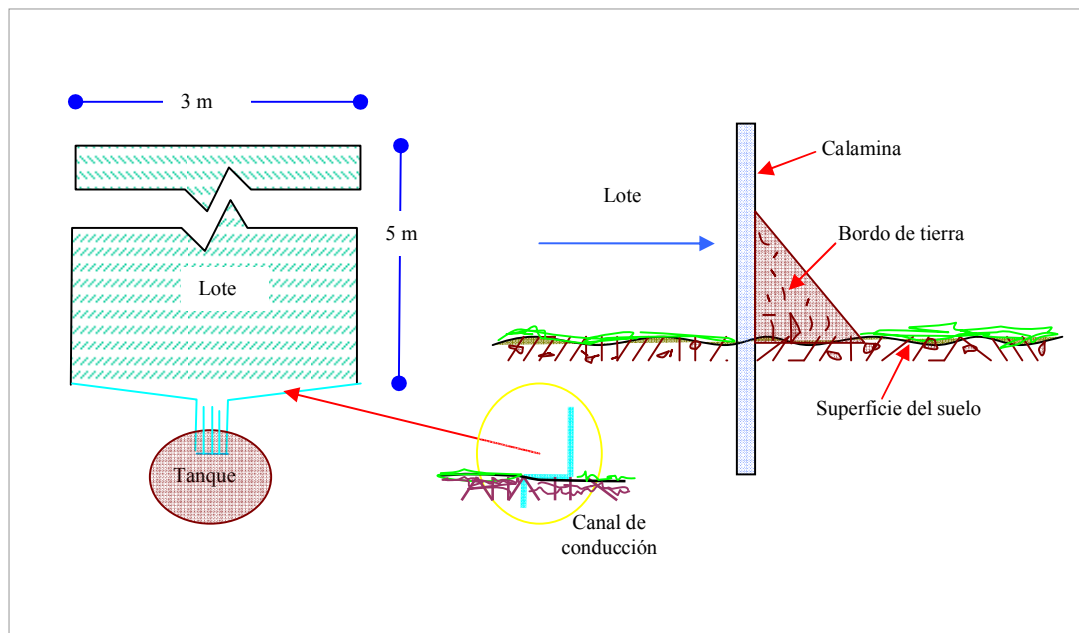
3.3.2. Etapa de campo.

Esta etapa comprende, la instalación de las parcelas, toma de datos y el recojo de las muestras. El croquis del ensayo (figura 1), muestra que la distribución de los ensayos fue al

azar, las parcelas de escorrentía han sido ubicadas en un área de 300 m²; las distancias fueron de 20 m en sentido de la pendiente y 15 m perpendicular a la pendiente, donde se establecieron los siguientes tratamientos: T1, Vegetación nativa; T2, Cultivo de papa en parcela nueva en surcos en sentido contrario a la pendiente; T3, Cultivo de papa en parcela nueva en surcos en sentido de la pendiente y T4, Cultivo de papa en parcela de tres años con surcos en sentido contrario a la pendiente.

La instalación de las parcelas de escorrentía, se realizó de acuerdo a las siguientes especificaciones (figura 2).

Figura 4. Diseño de la parcela de escorrentía.



Fuente: Elaboración propia, (2008).

Lote; es el área interior de la parcela de escorrentía de 15 m² de superficie, 5 m de largo en sentido de la pendiente y 3 m de ancho en sentido perpendicular a la pendiente, las medidas fueron tomadas con criterios de acuerdo al espacio y a las condiciones del terreno (tipo de suelo, pendiente y vegetación).

Calamina; se utilizaron para delimitar la parcela de escorrentía hincándola hasta 15 cm en el suelo, como aparece en la figura 1. Se construyó un bordo de tierra en la pared externa de las láminas y con estacas de madera por dentro para reforzar la estabilidad y mantener en forma vertical durante el estudio. Los traslapes fueron remachados con grapas de metal y silicona para evitar posibles filtraciones.

Unidades colectoras; en el límite inferior de cada lote de escorrentía se instaló el colector que consta de dos partes: Un elemento conductor (canal), que es la sección construida en forma de "L" hincado en el suelo hasta que la base del canal quede al nivel del suelo tal como se muestra en la figura 2, con una cierta inclinación que permita el movimiento del agua de escorrentía hacia el tanque de almacenamiento, que es el segundo elemento de la unidad colectoras. Este debe ser instalado en la dirección y por debajo del vertedor excavando el suelo suficientemente profundo. (Figuroa, Martínez, Pérez, 1983), para estimar la capacidad que deben tener las unidades de almacenamiento, se utilizó el valor de la lluvia máxima en 24 horas de la siguiente forma:

$$V = A \times L \times C \times 10$$

Donde: V = Volumen escurrido en 24 horas (litros)

A = Área del lote de escurrimiento (m²)

L = Lluvia máxima en 24 horas, para un periodo de retorno de 5 años (cm).

C = Coeficiente de escurrimiento (Adimensional)

10 = factor de corrección de unidades.

Por tanto se utilizó, colectores metálicos (turriles) de 56,5 cm de diámetro, 40 cm. de alto y con una capacidad de 100 litros.

El registro de datos de precipitación, escorrentía y la toma de muestras se realizó cada 24 horas, diariamente al inicio de la mañana y a la misma hora. La precipitación pluvial se registró a través de las lecturas del pluviómetro instalado junto al ensayo, la cantidad de agua

de lluvia precipitada en milímetros en el periodo de 24 horas. Para determinar el volumen del agua escurrida se midió la altura promedio de agua almacenada en el tanque utilizando una regla metálica graduada. Las muestras se recogieron en frascos de plástico de boca ancha de 500 ml de capacidad con sus respectivas codificaciones, inmediatamente se vació el agua del tanque limpiándolo y tapándolo con plástico hasta el próximo evento. El periodo de toma de datos comprendió desde Diciembre de dos mil siete, hasta Mayo de dos mil ocho.

La altura de la vegetación se midió con un flexómetro cada 15 días durante el ciclo vegetativo del cultivo y para la densidad se procedió al conteo del número de plantas por metro cuadrado, en ambos tipos de vegetación tanto en nativa como en el cultivo.

3.3.3. Etapa de laboratorio

En laboratorio se realizó el procesamiento de las muestras de acuerdo a las fechas de recolección. Se registró el volumen de las muestras utilizando una probeta de 1000 ml, la separación de sedimentos fue mediante el proceso de filtración usando el papel filtro celulosa, posteriormente se procedió al secado de las muestras de suelo en la estufa a 110 °C de temperatura y finalmente, se pesaron las muestras secas en una balanza electrónica de precisión junto con el papel. Para obtener el peso del suelo, se pesaron juntos 10 unidades de papel filtro y se determinó el peso promedio. Con este valor se resta del peso bruto de la muestra con papel. La suma de los valores de todos los eventos dio resultados de un ciclo de observaciones para cada lote de escurrimiento, en gramos por lote.

3.3.4. Etapa de gabinete.

En gabinete se realizó la tabulación y sistematización de los datos de campo y de laboratorio. Para realizar la determinación del volumen escurrido, se realizó cálculos con los datos recogidos en campo, reemplazando con este valor en la fórmula deducida de la calibración de un tanque por el método de mínimos cuadrados (ver anexo 10), de esa forma se calculó el volumen de escorrentía para cada tratamiento por cada evento. La pérdida de suelo, se determinó a partir de la escorrentía. Para ello se procedió de la siguiente forma:

1. Se pesó el suelo seco (sedimento) de la muestra en gramos.
2. Se multiplica el peso del suelo seco de la muestra por el volumen total escurrido de la parcela, para determinar la cantidad de suelo erosionado por parcela en gramos por lote (gr/lote).
3. Luego transformar de gramos por lote a kilogramos por hectárea y finalmente en (t/ha).

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En base al trabajo de campo realizado y a los objetivos planteados de este estudio, se llegó a los siguientes resultados.

4.1. Precipitación

La precipitación, ejerce su acción erosiva sobre la superficie del suelo mediante la escorrentía y a través del impacto de las gotas de lluvia, las cuales caen con velocidad y energía variable según sea su diámetro.

Cuadro 3. Registro de las precipitaciones que causaron escorrentía y erosión durante el estudio.

MESES	PRECIPITACIÓN TOTAL			PRECIPITACIÓN QUE CAUSÓ ESCORRENTÍA Y EROSIÓN		
	Nº DE EVENTOS	mm	%	Nº DE EVENTOS	mm	%
Diciembre	4	17,5	2,85	2	14	2,28
Enero	19	310,5	50,63	16	296,5	48,35
Febrero	15	123,5	20,14	9	105,5	17,2
Marzo	13	110,8	18,07	8	96,5	15,73
Abril	15	47,5	7,74	4	29,5	4,81
Mayo	2	3,5	0,57	0	0	0
TOTAL	68	613,3	100	39	542	88,4

Fuente: Elaboración propia, (2008).

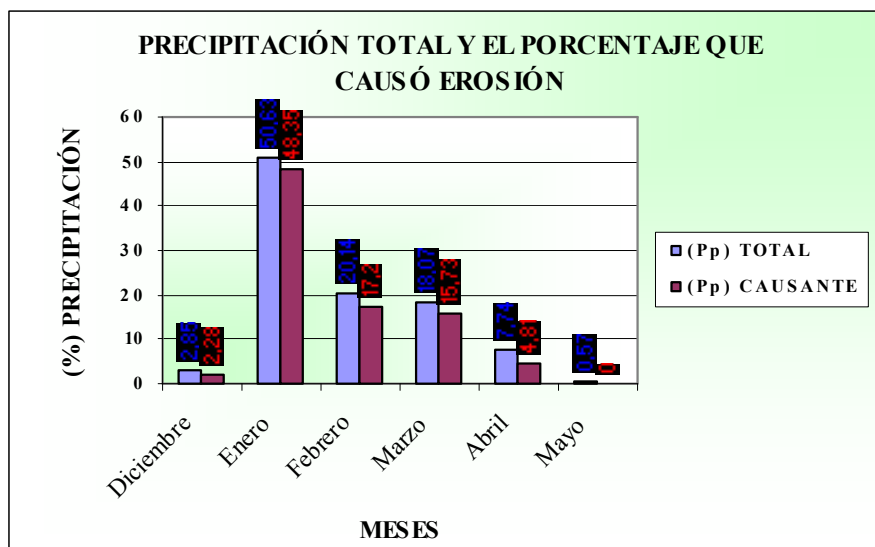
Según el cuadro 3, de los 68 eventos de lluvia, 39 produjeron escorrentía y erosión del suelo. El 48,62% del total de la precipitación pluvial pertenece al mes de Enero que registró 19 eventos, de los cuales, 16 produjeron escorrentía y erosión, seguido por el mes de Febrero y Marzo que aportaron con 17,20% y 15,73% respectivamente del total de la precipitación causante de escorrentía y erosión. En el mes de Abril se registraron 15 eventos de lluvia al

igual que en Febrero, sin embargo, en el mes de Abril 4 de los 15 eventos produjeron escorrentía y erosión, siendo el 4,81% del total de la precipitación causante.

Esto explica que en el mes de Febrero fueron lluvias de alta intensidad y no así en el mes de Abril, es decir, en las tormentas el diámetro de las gotas de lluvia son mayores por lo que la velocidad final es mayor al chocar con el suelo, por tanto su erosividad será más acentuada que cuando ocurren lluvias de baja intensidad.

Las lluvias siempre causan los mismos daños, pero sus efectos varían según la cantidad de precipitación que cae en un determinado tiempo, así una lluvia de cien milímetros por hora ocasionará mayor estrago, que otra que cae en 24 horas respectivamente. (Ferreira, 1984).

Gráfico 1. Precipitación total y el porcentaje de precipitación que causó escorrentía y erosión.



Fuente: Elaboración propia, (2008).

En el gráfico 1, podemos interpretar que las precipitaciones mensuales causantes de escorrentía y erosión son *proporcionales* a las precipitaciones totales. La precipitación causante de erosión en el mes de Diciembre es casi toda la precipitación total. En el mes de Enero se registró el 48,35% de la precipitación que causó erosión, siendo más del 50% del total de la precipitación que causa la pérdida de suelo durante el estudio, seguido por el mes de Febrero y Marzo con 17,2% y 15,73% respectivamente. En el mes de Abril fueron

precipitaciones de baja intensidad en su mayoría y registraron el 4,81% de precipitación que causó escorrentía y erosión, finalmente cesan las lluvias durante el mes de Mayo sin ocasionar la escorrentía ni la pérdida de suelo.

Durante el estudio, la precipitación que se registró de mayor intensidad fue del evento de 7 de marzo de 2008, con 25 mm causando mayor escorrentía y erosión equivalente a la suma de varias precipitaciones de menor intensidad. Sin embargo, (Suárez de Castro, 1982), señala que la cantidad anual o mensual de la precipitación pluvial no es de tanta importancia como la intensidad.

En caso de lloviznas, el diámetro medio de las gotas de lluvia es aproximadamente de 1 mm; en tanto que en tormentas de alta intensidad de 50 mm/h, se presentan diámetros del orden de 2.5 mm, cuyo efecto erosivo es mayor. (Kirkby y Morgan, 1984).

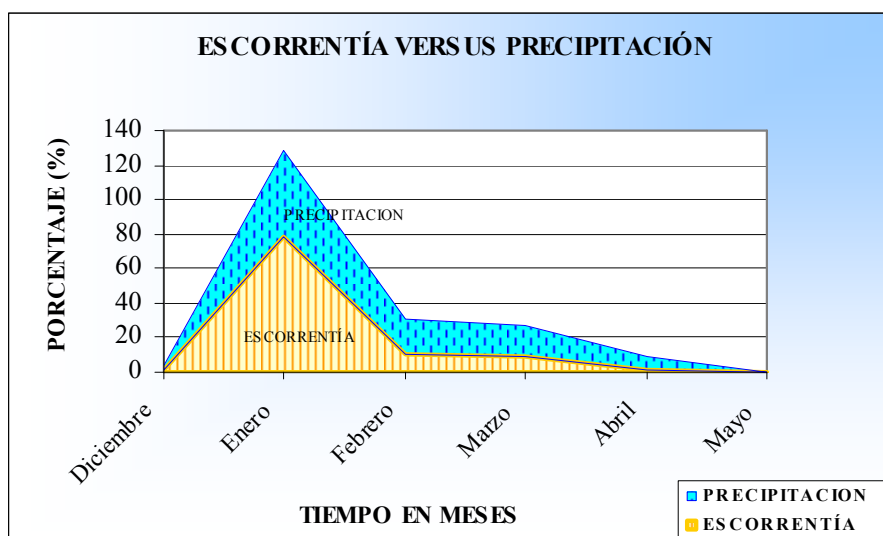
4.2. Escorrentía

4.2.1. Relación entre la escorrentía y la precipitación

Según el gráfico 2, la escorrentía tiene una directa relación con la precipitación, está en función de la intensidad de las precipitaciones, existe mayor escorrentía durante las lluvias torrenciales aunque éstas ocurran por un periodo corto, ya que a las ocurrencias de altas intensidades de lluvia la velocidad de infiltración es menor en el perfil del suelo y no ocurre lo mismo en las precipitaciones de baja intensidad, la mayor parte de ésta se infiltración en el perfil del suelo.

Los resultados extremos que se registraron de escorrentía fueron: En el mes de Enero 1160,94 m³/ha con un porcentaje de 77,78% y en el mes de Mayo con 0,29 m³/ha., con 0,02% de escorrentía. Más del 50% del total de la escorrentía, ocurrió en el mes de Enero y el otro extremo deduce la ausencia paulatina de precipitaciones.

Gráfico 2. Relación escorrentía - precipitación.



Fuente: Elaboración propia, (2008).

Por lógica existe una causa (motivo) y un efecto (resultado); en este caso, la precipitación pluvial es la causa porque sin ella no habría el producto de escorrentía ni el traslado de las partículas (minerales y orgánicos) del suelo, es decir, existe una correlación recíproca, a mayor cantidad de precipitación pluvial es mayor el volumen de escorrentía.

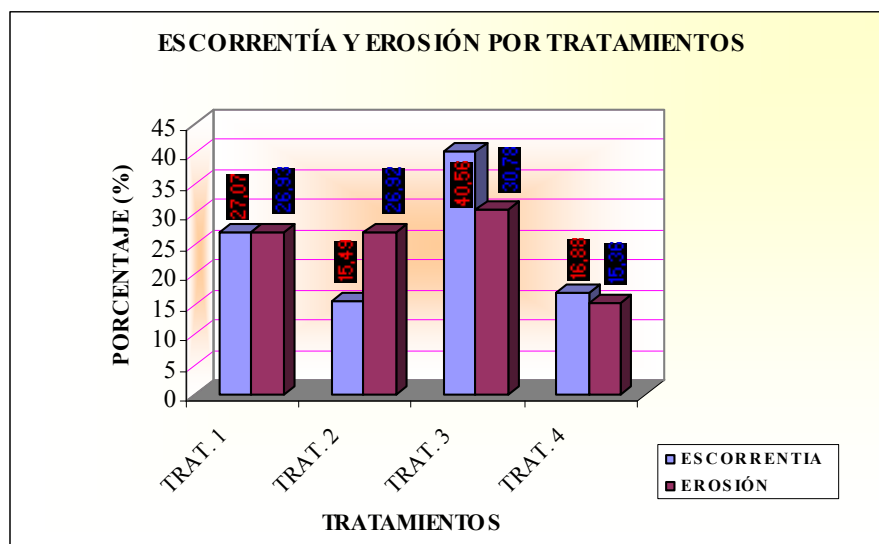
4.2.2. Relación entre la erosión y la escorrentía

Cabe señalar que la escorrentía está estrechamente relacionada con la determinación de la pérdida de suelo, pero a su vez limitada por varios factores como la precipitación, suelo, cultivo y otros (Suárez de Castro, 1982).

El gráfico 3, muestra que a mayor escorrentía, la erosión es mayor. Sin embargo, la dirección de los surcos también influye directamente en la facilidad de escorrentía y por consiguiente en la pérdida de suelo. Las características de los suelos tuvieron influencia positiva respecto a la escorrentía y erosión, que fueron suelos de textura franca arenosa que permitió la infiltración de una gran parte de las aguas de precipitación pluvial en el perfil del suelo; con un contenido de 12 a 16% de materia orgánica, optimizando las condiciones del

suelo al aumentar la granulación de las partículas, mejora la porosidad y la circulación del aire y agua.

Gráfico 3. Relación de erosión - escorrentía por tratamientos.



Fuente: Elaboración propia, (2008).

Los datos de la escorrentía y la erosión, se registraron: En el tratamiento 1, el 404,04 m³/ha de escorrentía y una cifra de 2,42 t/ha de erosión; en el tratamiento 2, la escorrentía fue de 231,26 m³/ha, que ocasionó 2,41 t/ha de erosión; el tratamiento 3, registró 605,33 m³/ha, causando una pérdida de suelo de 2,77 t/ha y finalmente el tratamiento 4, registró 251,93 m³/ha ocasionando el 1,38 t/ha de pérdida de suelo.

Comparativamente, se observa que, los valores de escorrentía y erosión no son proporcionales. En el tratamiento 2, la escorrentía fue de 231,26 m³/ha, que ocasionó 2,41 t/ha de erosión y en el tratamiento 4, registró 251,93 m³/ha ocasionando el 1,38 t/ha de pérdida de suelo. Es decir, en una parcela nueva las partículas del suelo son fácilmente transportadas por efecto de escorrentía que en una parcela de tres años donde las partículas mas finas ya fueron lixiviadas en los anteriores periodos de lluvia.

De igual forma existieron diferencias entre los tratamientos 1 y 2 que fueron de 404,04 m³/ha, y de 231,26 m³/ha de escorrentía respectivamente. Sin embargo, en los dos tratamientos

se registraron de 2,42 t/ha de pérdida de suelo. El tratamiento 1, demostró mayor cohesión, probablemente debido a la mayor estabilidad de los agregados y mayor consistencia del suelo, lo que evitó el desprendimiento y arrastre de las partículas. El tratamiento 2, presentó un suelo removido donde sus partículas fueron disgregadas y predisuestas para el transporte por el efecto de la escorrentía.

4.3. Cobertura vegetal

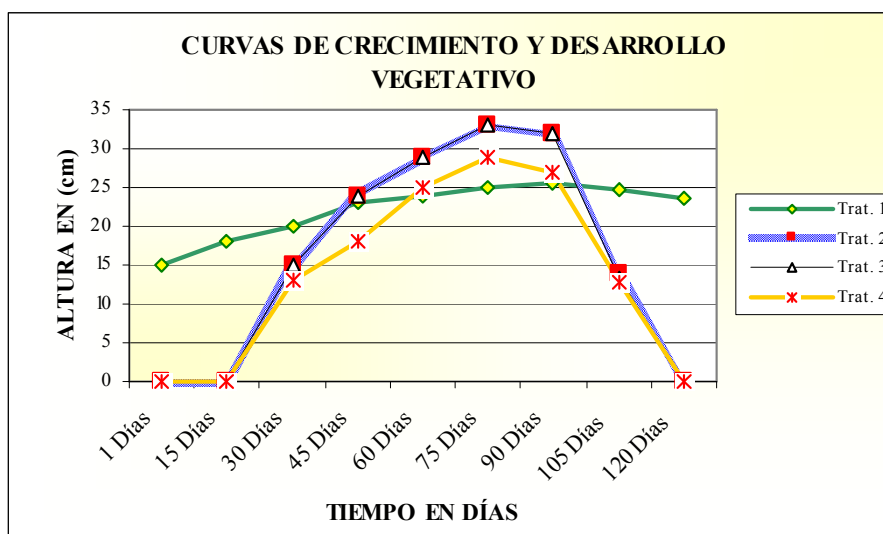
En el gráfico 4, se observa que en los distintos tratamientos las curvas de crecimiento y desarrollo de la cobertura vegetal incrementan gradualmente hasta alcanzar sus valores máximos en el mes de Marzo con 25,5 cm para el tratamiento 1; con 33 cm para el tratamiento 2 y 3 y con 29 cm par el tratamiento 4.

4.3.1. Vegetación nativa

La vegetación nativa está compuesta por pajonales y pastizales como el ichu (*Stipa ichu*), y otras variedades de pastos característicos de la zona y/o de las altas montañas. Se observa en la zona de estudio una cobertura permanente de constante crecimiento y desarrollo, sobre todo en la época de lluvias, especialmente en los meses Enero y Febrero, luego tiende a estabilizarse en el mes de Marzo. Esta cobertura vegetal protege al suelo del impacto directo de las gotas de lluvia, disminuye la escorrentía, haciendo que se reduzca la erosión del suelo.

El crecimiento y desarrollo de la vegetación nativa mostró fluctuaciones desde 9,5 cm al inicio del periodo de las lluvias, para luego ir incrementando hasta alcanzar el 25,3 cm en el mes de Febrero y después estabilizarse en el mes de Marzo. El porcentaje de la cobertura vegetal para este tratamiento varió desde 32% hasta 46,5%.

Gráfico 4. Crecimiento y desarrollo de cobertura vegetal en los diferentes tratamientos.



Fuente: Elaboración propia, (2008).

4.3.2. Cultivo de papa

El cultivo de papa en su primera fase denotó una demora en la emergencia, dejando la superficie del suelo descubierta durante un largo periodo, lo cual favorece al efecto erosivo de las lluvias y como consecuencia la pérdida de suelo. Según las encuestas a los agricultores del lugar, el Sr. Agapito Salazar, sostuvo que la germinación tarda debido a la falta de aireación del suelo en la parcela, haciendo que las semillas de papa se mantenga helada dentro el suelo.

Durante la segunda fase la cobertura vegetal del cultivo incrementa gradualmente hasta cubrir la superficie del suelo en un 65% a 68%, disminuyendo notablemente la erosión del suelo, luego en los comienzos de su tercera fase, el cultivo se vio afectado por el fenómeno de la helada a mediados del mes de Marzo, quemando la materia verde del cultivo y su posterior defoliación, favoreciendo nuevamente en el aumento de la erosión durante los últimos días de Marzo.

En el gráfico 4, se puede apreciar que el comportamiento de las curvas describen que el cultivo de papa después de los 75 días, muestra claramente la pérdida de materia vegetal y no así en el tratamiento con vegetación nativa, lo cual nos hace entender que el cultivo de papa es

sensible a la presencia de heladas y como consecuencia aumentó el porcentaje de erosión en el mes de Marzo respecto al mes de Febrero, aunque las precipitaciones en Marzo fueron menores.

4.4. Relación entre escorrentía, erosión y cobertura vegetal

La cuantificación en porcentajes de escorrentía, erosión y cobertura vegetal para cada tratamiento se indica en los gráficos 5 al 8, donde se ilustran el comportamiento de estos tres variables durante el estudio. Se observa en los distintos tratamientos, que la escorrentía y erosión son mayores en el mes de Enero y según incrementa paulatinamente la cobertura vegetal disminuye a partir del mes de Febrero en adelante.

4.4.1. Vegetación nativa (tratamiento 1)

En el gráfico 5, se observa que la cobertura vegetal nativa muestra un ligero incremento, hasta fines de Marzo, alcanzó un valor de 25,5 cm de altura y un 46,5% de cobertura vegetal, para luego estabilizarse en el mes de Abril. En este tratamiento 1, la escorrentía y erosión registraron valores altos durante el mes de Enero alcanzando hasta 58,03% y 86,98% respectivamente. Del total escurrido y erosionado durante todo el ciclo.

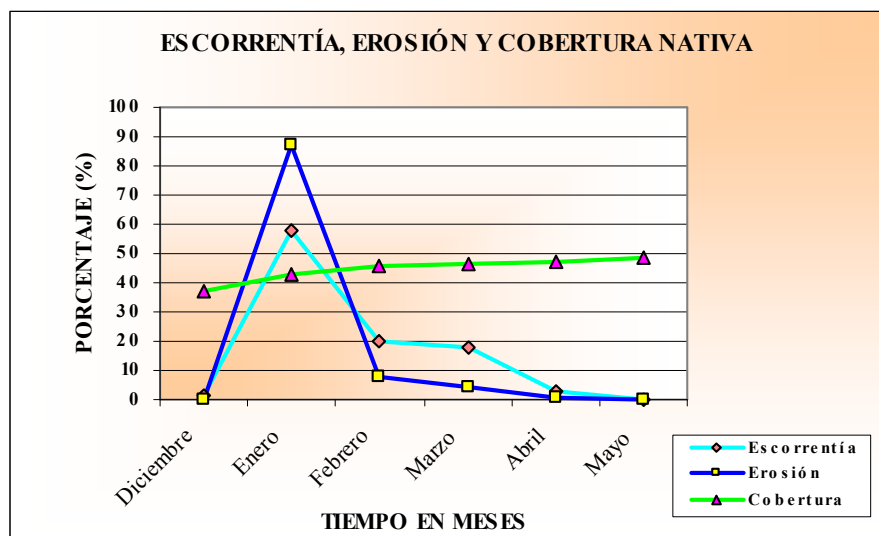
Los valores altos registrados se deben a la mayor cantidad de eventos que causaron escorrentía y erosión provocando más del 50% del total de la pérdida de suelo durante este mes.

Durante el mes de Enero la cobertura vegetal aún no cubre eficientemente la superficie del suelo y las partículas del suelo fueron lavadas por las primeras lluvias de alta intensidad; fue una de las razones para que los suelos sean erosionados.

Los agentes predisponentes son todos aquellos fenómenos ambientales y organismos vivos que directa o indirectamente predisponen al suelo para ser erosionados tales como la

temperatura, la humedad relativa, la acción de algunos animales superiores, termitas, las lombrices y diversos inherentes a la actividad del hombre. Son las razones para que este tratamiento con vegetación nativa sea erosionado hasta un 26,93% del total de la erosión (Becerra, 1994).

Gráfico 5. Relación de curvas de escorrentía, erosión y cobertura vegetal nativa.



Fuente. Elaboración propia, (2008).

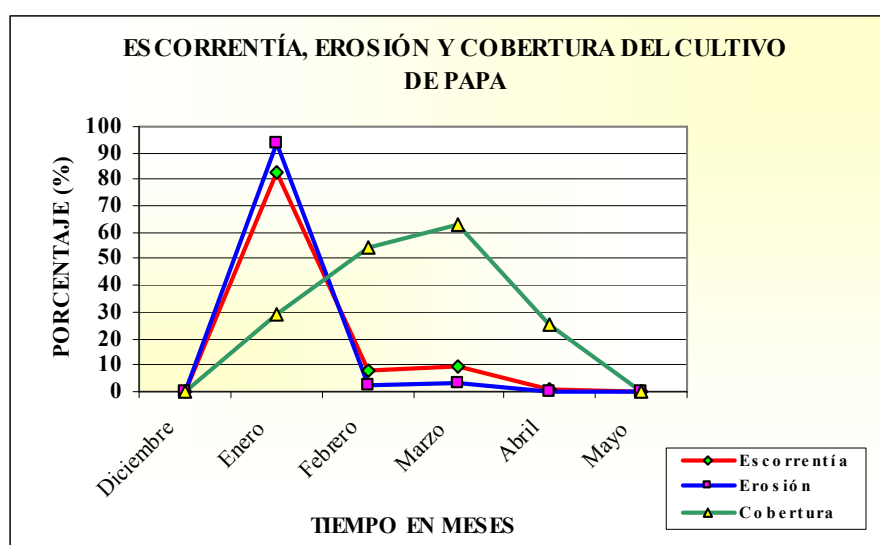
4.4.2. Cultivo de papa (tratamiento 2)

El cultivo tiene surcos en sentido contrario a la pendiente, el efecto de la dirección de los surcos también influye directamente en la escorrentía y por consiguiente en el arrastre de las partículas del suelo, la escorrentía fue de 15,49% y registró el 26,42% del total de la pérdida de suelo. Los valores más altos de escorrentía y erosión registraron en el mes de Enero: 82,34% y 86,88% respectivamente.

En el gráfico 6, se observa que las curvas de escorrentía y erosión son proporcionales durante el mes de Enero, posteriormente el efecto de la cobertura vegetal fue notable en su función de protección al suelo contra la escorrentía y erosión.

El comportamiento de la curva de la cobertura en el cultivo de papa, muestra un crecimiento progresivo desde la germinación, registrando un 29,5% de cobertura en Enero, luego incrementó en el mes de Febrero a 46,6% hasta 64% de cobertura en el mes de Marzo. (Stallings, 1962), menciona que la densidad de las plantas vivas y la altura promedio del forraje, proporciona una indicación ligera de la eficiencia de la cobertura en la reducción de la erosión por chapoteo.

Gráfico 6. Curvas de escorrentía, erosión y cobertura vegetal del cultivo (tratamiento 2).



Fuente: Elaboración propia, (2008)

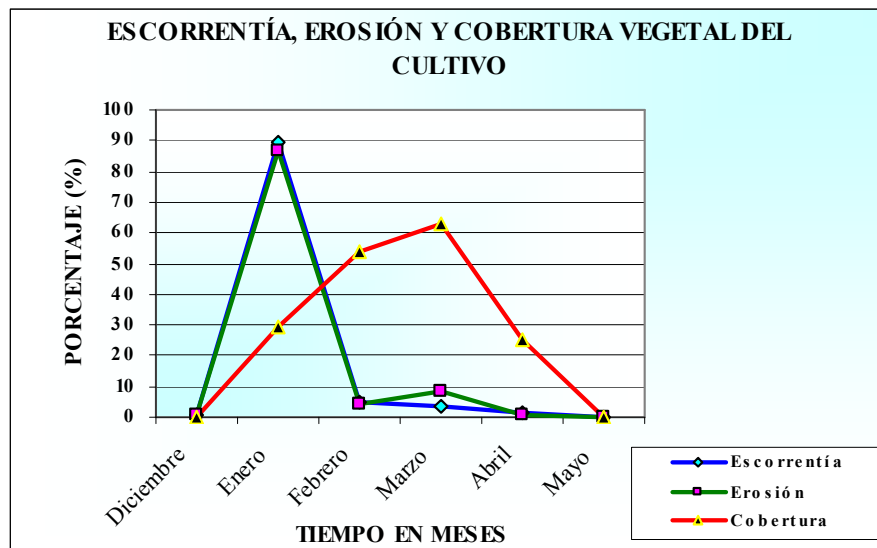
4.4.3. Cultivo de papa (tratamiento 3)

La diferencia que existe entre ésta y el tratamiento 2, es en el trazado de la dirección de los surcos, obviamente ésta condición facilita el flujo de escurrimiento superficial, por consiguiente el arrastre de las partículas de suelo.

En el gráfico7, se observa que el comportamiento de la curva de cobertura tiene la misma tendencia que en el tratamiento 2, debido a que se encuentra sometida a las mismas condiciones y características, habiendo variaciones en la escorrentía y erosión que registraron un valor de: 40,56% y 30,78% respectivamente. Sin embargo en el mes de Enero, al igual que

en los otros tratamientos se registró valores muy altos, 89,60% de escorrentía y 94,05% de erosión.

Gráfico 7. Curvas de escorrentía, erosión y cobertura vegetal del cultivo (tratamiento 3).



Fuente: Elaboración propia, (2008).

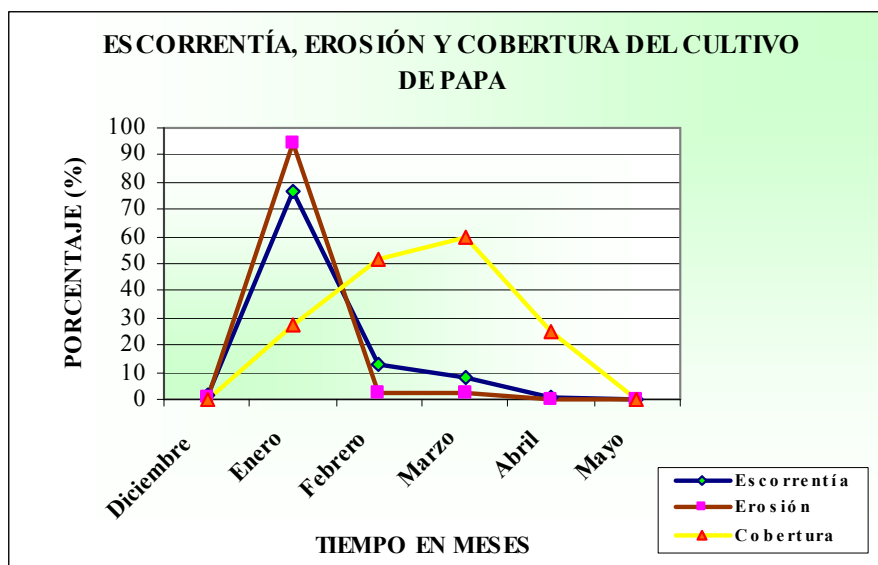
Algunos agricultores de la zona cultivan en surcos con dirección a la pendiente, para evitar el encharcamiento en los cultivos, sobre todo durante la época de la cosecha. Es decir, cuando ocurren las lluvias torrenciales, existe estancamiento de agua en los surcos y ésta con el tiempo de duración de la precipitación generalmente suele rebalsar abriendo brechas, finalmente avanza cortando los próximos surcos hacia abajo a medida que incrementa el caudal. Cultivando en surcos en sentido de la pendiente evitarían la pérdida de suelo en sus parcelas durante lluvias torrenciales, ya que este método facilita la salida de aguas de escorrentía fuera de la parcela.

No obstante, según el “Manual Agropecuario” (2004), la erosión en surcos se ve favorecida cuando los cultivos se hacen en sentido de la pendiente, porque el agua escurre formando surcos.

4.4.4. Cultivo de papa (tratamiento 4)

El gráfico 8, muestra el comportamiento de la curva de cobertura vegetal que tiene una tendencia similar a los otros tratamientos con cultivo, sin embargo, el crecimiento y desarrollo de la cobertura vegetal es menor respecto a los tratamientos 2 y 3.

Gráfico 8. Curvas de escorrentía, erosión y cobertura vegetal del cultivo (tratamiento 4).



Fuente: Elaboración propia, (2008).

Las curvas de escorrentía y erosión registraron valores altos en el mes de Enero: 77.78% y 89.99% respectivamente.

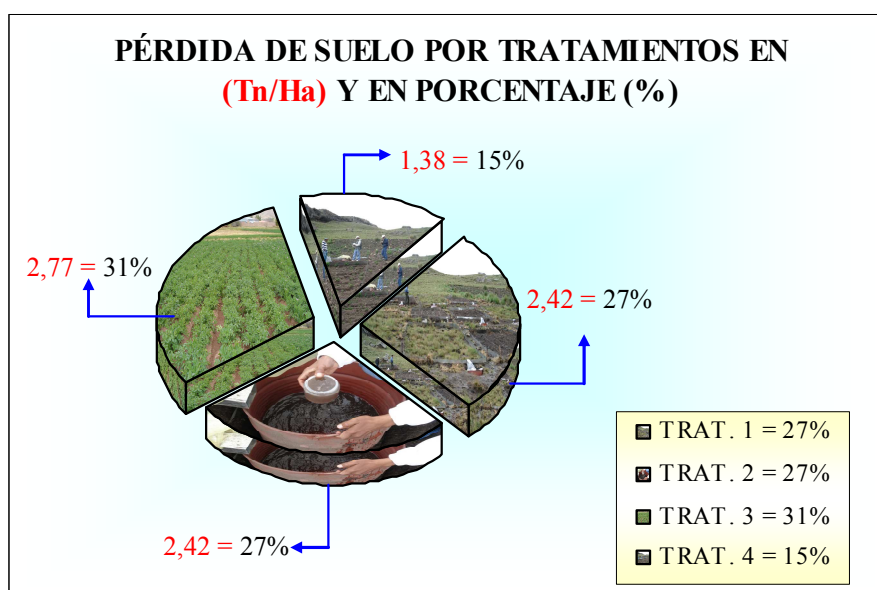
Los gráficos 6, 7 y 8 muestran que a mayor desarrollo foliar, la escorrentía y la erosión disminuyen notoriamente debido a la mayor intercepción de las gotas de lluvia por el follaje, y por otro lado la escorrentía y la erosión fueron mayores durante el mes de enero.

Este resultado es corroborado por Ewel y Stoking (1976), citado por Kirkby y Morgan (1984), quienes señalan que, en los campos arables, la erosión disminuye a medida que los cultivos se vuelven más densos y esta disminución es más marcada cuando los cultivos cubren más del 30% de la superficie del suelo.

4.5. Pérdidas de suelo

De acuerdo a los resultados la gráfica 9, muestra que los tratamientos 1 y 2, registraron a 2,42 t/ha, con un porcentaje de 26,93%; el tratamiento 3, registró 2,77 t/ha siendo el 30,78% del total de la pérdida del suelo. Y el tratamiento 4, registró el 1,38 t/ha, con 15,36% del total del suelo erosionado.

Gráfico 9. Pérdida de suelo en porcentaje por tratamientos.



Fuente: Elaboración propia, (2008).

Las diferencias en las pérdidas de suelo, se debe a la eficiencia de la cubierta vegetal con la que los diversos tratamientos protegen el suelo del impacto de las gotas de lluvia. El valor más alto fue en el tratamiento 3, debido a sus surcos en sentido de la pendiente que facilitó el flujo de escorrentía superficial y por consiguiente la pérdida de suelo. Los tratamientos 1 y 2 registraron cantidades similares, el tratamiento 4 es el que registró menor cantidad de pérdida de suelo.

La medida cuantitativa de la resistencia de los suelos a la erodabilidad, es efectuada en base a las propiedades del suelo sujetos a medición; esta evaluación sin embargo presenta dificultades incluso en un mismo tipo de suelo que puede variar de un lugar a otro; los suelos

arenosos son más fácilmente erosionables por efecto de la precipitación pluvial, que los suelos arcillosos (Alegre, 1979).

4.6. Pendiente con relación a la escorrentía y erosión.

Las parcelas de escorrentía fueron establecidas en un terreno con pendiente de 7%, la influencia de éste hace que la escorrentía, sea de lenta a media produciendo erosión moderada. Al respecto (Torres Ruiz 1984, citado por García 1993), menciona que en una pendiente de 5 a 10%, el escurrimiento es lento, hay agua superficial por periodos cortos y el grado de erosión es leve.

La zona de estudio además de una pendiente principal, presentó inclinaciones secundarias que manifestaron ligeras variaciones de un sector a otro, que afectó al escurrimiento y por consiguiente en la pérdida del suelo. Este caso se observó en la parcela de escorrentía del tratamiento 2 de la repetición 3. Donde la escorrentía tuvo un efecto moderadamente erosivo, que permitió mayor infiltración de agua de lluvia en el perfil del suelo

Mientras más pronunciada es la pendiente, más rápidamente fluye el agua sobre la superficie del suelo, la capacidad de arrastre del agua aumenta muy rápidamente cuando el flujo aumenta su velocidad; la cantidad de suelo transportada por el agua en plena corriente es también mucho mayor, que el agua que transporta en movimiento lento; las pendientes muy largas pero de moderado declive pueden sufrir más erosión que las pendientes muy pronunciadas pero cortas. (Millar, Turk, Foth, 1961; citado por Suárez de Castro 1982).

V. CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados obtenidos en el presente estudio se concluye lo siguiente:

- i. La pérdida del suelo fue diferente en todos los tratamientos. La mayor pérdida del suelo se registró en el tratamiento 3 (cultivo de papa en parcela nueva en surcos en sentido de la pendiente), con 2,76 t/ha, siendo de 30,78% del total de la pérdida del suelo y la menor pérdida fue en el tratamiento 4 (cultivo de papa en parcela de tres años en surcos en sentido perpendicular a la pendiente) con 1,38 t/ha siendo de 15,36% del total de la pérdida del suelo. En los tratamientos 1 y 2, los resultados fueron de 2,42 t/ha con 26,93% del total de la pérdida del suelo. Los resultados demuestran que la dirección de los surcos en el cultivo en pendiente influyó en la escorrentía y erosión.
- ii. La escorrentía registrada durante el estudio fueron: el tratamiento 1, registró 404,04 m³/ha con un 27,07% de escorrentía, en el tratamiento 2; se registró de 231,26 m³/ha con un 15,49% de escorrentía; el tratamiento 3, de 605,33 m³/ha con un 40,56% y el tratamiento 4, registró el 251,93 m³/ha con un 16,88% de la escorrentía total.
- iii. La precipitación pluvial fue uno de los factores de mayor influencia sobre los procesos erosivos dentro de este ensayo. Del total de la precipitación pluvial, el 88,4% causó escorrentía y erosión, del cual el 48,35% ocurrió en el mes de Enero, debido a la presencia de las precipitaciones de alta intensidad. La pendiente y el tipo de suelo fueron los otros factores que determinaron que la escorrentía fuera lenta y erosión leve.
- iv. Las precipitaciones de alta intensidad ocasionaron mayor cantidad de escorrentía y erosión y no así la cantidad de precipitaciones, es decir, en las tormentas donde el diámetro de las gotas de lluvia es mayor, la velocidad final es mayor al chocar con

el suelo, por tanto su erosividad es más acentuada que cuando ocurren lluvias de baja intensidad.

- v. La eficiencia de la cobertura vegetal, varía de acuerdo a su desarrollo. Existe mayor eficiencia si la vegetación tiene una buena distribución sobre la superficie del suelo; la vegetación de porte bajo y denso es mucho más eficiente ante el efecto erosivo de la precipitación.

VI. RECOMENDACIONES

Los resultados del trabajo de investigación señalan la importancia de recomendar lo siguiente:

1. Para hacer un efectivo desarrollo de las áreas agrícolas con problemas de erosión, el Estado debe fomentar a las instituciones a fines, a través de una coordinación y participación con las autoridades regionales a elaborar un plan, que considere lineamientos generales en prácticas de conservación de suelos e incorpore proyectos a fin de iniciar acciones de prevención contra los procesos de erosión.
2. A fin de evitar la erosión de los suelos, se considera indispensable realizar obras como ser: la construcción de terrazas y plantación de barreras vivas de contorno con especies adaptables a la zona, acompañado con prácticas agronómicas, arar siguiendo las curvas de nivel, cultivos de cobertura, cultivos en fajas y no abandonar los campos dejándolos desnudos, de esa manera para reducir la erosión y mantener o mejorar la capacidad productiva de los suelos agrícolas.
3. Los agricultores deben realizar prácticas de conservación tradicionales en sus cultivos, la construcción de zanjas para interceptar e infiltrar o desviar la escorrentía de las partes altas y prevenir los daños a los cultivos de abajo, los cuales pueden ser suficientes para controlar el daño de la erosión que ocurre en eventos de alta intensidad menos frecuentes.
4. Plantear una metodología participativa para la conservación de suelos en acción conjunta entre los profesionales, técnicos y los agricultores, motivando con capacitaciones en temas específicos de conservación, a través de talleres y cursillos. Una vez capacitados los agricultores podrán realizar el control de la erosión; además, el uso y manejo apropiado de este importante recurso, mientras los técnicos harán una labor de seguimiento constante a los agricultores.

5. Finalmente se recomienda la concienciación a los niños a partir de la escuela quienes deben ser los primeros pasos para cuidar el Medio Ambiente.

VII. BIBLIOGRAFIA

- ALEGRE, J. 1979. Efecto de enmiendas orgánicas sobre la agregación y la estabilidad de los agregados, porosidad, humedad equivalente en un suelo de costa. Universidad Nacional Agraria La Molina. P. 79-85
- AMARAL, D. 1978. Nociones de conservación de suelo. 2ed. NOBEL, Sao Paulo. P. 30-65
- AYRES, Q. 1960. La erosión del suelo y su control. Ediciones OMEGA, S.A. Casanova 220- Barcelona España. P. 35-134
- BECERRA, M. A. 1994. Erosión de suelos. Apuntes de la primera parte del curso "conservación de suelo". Universidad Autónoma de Chapingo. México. P. 1-55
- BENZA, G. 1982. Cinco años de conservación de suelos con los campesinos de los andes peruanos. Ministerio de Agricultura, Lima, Perú. P. 152-153
- CHINO, S. 2002. Identificación y monitoreo de prácticas campesinas de manejo de suelos y agua en ladera de la zona de Koari. Tesis Ing. Agr. Facultad de Ciencias Agrícolas y Pecuarias. Universidad mayor de San Simón. Cochabamba, Bolivia. P. 17-31; 45-56
- COLEGIO DE POSTGRADUADOS. 1987. Manual de Conservación de Suelos y Agua. Secretaria de Agricultura y Recursos Hidráulicos. Chapingo, México. P. 3-37
- COSSIO, C. 1990. Efectos de diferentes sistemas de preparación sobre la conservación de suelos en terrenos con pendiente. Tesis Ing. Agr. Facultad de Ciencias Agrícolas y Pecuarias. Universidad mayor de San Simón. Cochabamba, Bolivia. P. 35-62
- DOMINGUEZ, A. 1975. El suelo, medio ambiente de las raíces. Secretaria de los recursos hidráulicos, Memorando Técnico n° 337, México. P. 4-23

- ESPINOZA T. 2003. Apuntes de la materia de Geomorfología y –fotointerpretación. Facultad de Ciencias Agrícolas y Pecuarias. Universidad mayor de San Simón. Cochabamba, Bolivia. P. 8-44
- ESPINOZA, S. 1978. La erosión; un problema grave en tierras de área montañosa y sus relaciones con las torrenteras. Universidad del Oriente. Núcleo Monagas, Venezuela. P. 5-12
- FAO. 1967. La conservación del suelo por el agua; algunas medidas para combatir en Las tierras de cultivo. Roma, Italia. P. 50-126
- FAO. 1983. Mantengamos viva la tierra, causas y remedios de la erosión del suelo. Boletín n° 50, Roma Italia. P. 6-21
- FERREIRA, P. 1984. Principios de manejo y de conservación de suelo. 3ed. NOBEL, Sao Paulo. P. 58-61
- FIGUEROA, MARTÍNEZ Y PÉREZ, 1983. Instructivo para el establecimiento de lotes de escurrimiento. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, Subsecretaría de Agricultura y Operación, Dirección General de Conservación del Suelo y Agua, Subdirección de Estudios e Investigación. México, D. F. P 55 p
- FOSTER, A. 1967. Métodos apropiados en conservación de suelos. 1ed. TRILLAS, México, D. F. P. 72–80
- FOURNIER, F. 1975. Conservación de suelos. Traducido. Por Juan Medina. 2ed. MUNDI PRENSA. Madrid, España. P. 45-65
- GARCIA S. José A. 1993. “Determinación de las intensidades de erosión hídrica bajo 6 coberturas vegetales en terrenos de ladera en Provincia Campero”. Tesis Ing. Agr.

Facultad de Ciencias Agrícolas y Pecuarias. Universidad mayor de San Simón. Cochabamba, Bolivia. P. 1-29

HILSKY, H. 1970. Erosión en cárcavas. Academia de Ciencias de Cuba, Instituto de Geología. Serie nº 7, La Habana, Cuba. P. 11-15

HUDSON, H. 1971. Conservación del suelo. 1º Edición. REVERTE. Barcelona, España. P. 37-67; 159

KIRKBY, M. J.; MORGAN, R. P. C. 1984. Erosión de suelos. Traducido por José Hurtado. Limusa, México. D. F. P. 13-25; 35-36

LLUVIAS TORRENCIALES. En (www.publico.es/ciencias/.../lluvias/torrenciales). Fecha de consultada (3/10/2009)

MANUAL AGROPECUARIO, 2004. Tecnologías Orgánicas de la Granja Integral Autosuficiente. 1º Edición. Fundación Hogares Juveniles Campesinos. Bogotá, Colombia. P. 54

MARTINEZ, M. 1983. Perspectivas técnicas sobre la conservación y productividad de los suelos en México. TERRA, México. P. 24-30

MELA MELA, P. 1963. Tratado de edafología y sus aplicaciones. 2ed. AGROCIENCIA, Zaragoza, España. P. 267-275

MÉTODOS EXPERIMENTALES PARA EL SEGUIMIENTO Y ESTUDIO DE LA EROSIÓN. En (www.unalmed.edu.co/articulo20estudiodelaerosion.pdf). Fecha de consulta (25/10/2009)

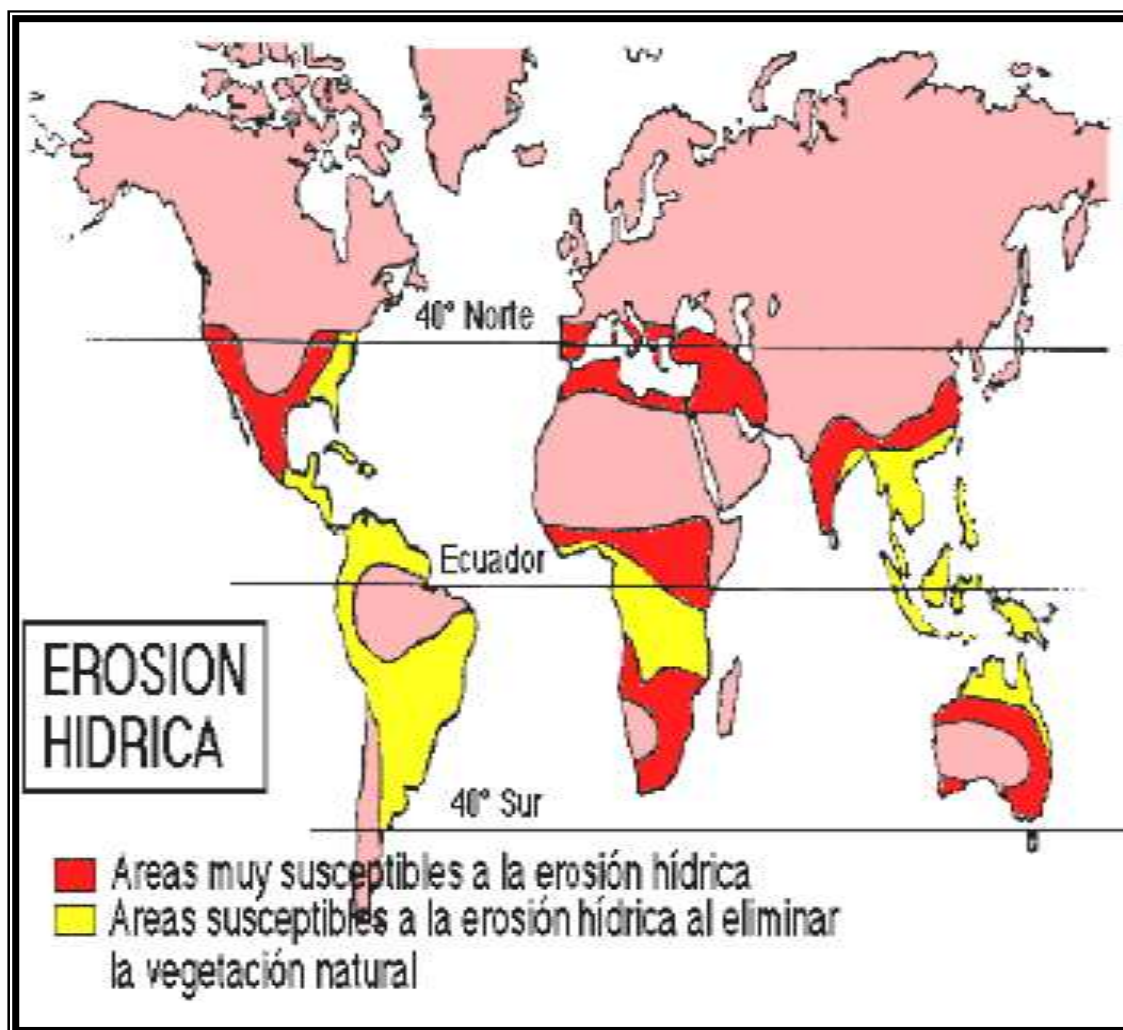
REVISTA DE AGRICULTURA, 2007. Actualidad Nacional Desarrollo de Tecnologías. Revista nº 41. Cochabamba, Bolivia. 40 p.

- SCHULTZ, L. 1978. Métodos de Conservación de Suelo. 2ed. SAGRA, Porto Alegre, Brasil. P. 22-25
- SIVILA, V. 1990. Evaluación de la erosión hídrica en cultivos tradicionales en la comunidad de Chuñavi (Provincia Ayopaya). Tesis Ing. Agr. Facultad de Ciencias Agrícolas y Pecuarias. Universidad mayor de San Simón. Cochabamba, Bolivia. P. 30-83
- SOMARRIBA, J. J. 1983. Metodología para determinar el riesgo de erosión. En (www.crid.or.cr/crid/idrc/documentos/MA1/1161728228_erosion). (26/10/2009)
- STALLINGS, J. H. 1962. El suelo su uso y mejoramiento. Compañía Editorial Continental, S.A. Calzada de Tlalpan nº 4620. México. 22 D. F. P. 15-60; 105-166
- STOCKING Y MORNAGHAN N. 2003. Manual para la evaluación de campo de la degradación de la tierra. Ediciones Mundi – Prensa. P. 49-55
- SUAREZ DE CASTRO. F. 1979. Conservación de suelos. Salvat Editores S.A., Barcelona, España. P. 20-54
- SUAREZ DE CASTRO. F. 1982. Conservación de suelos. 2ed. San José, Costa Rica. IICA. P. 21-52; 95
- VASQUEZ, V. A. 2000. Manejo de Cuencas Altoandinos. Tomo I. Escuela Superior de Administración de aguas “Charles Sutton”. Perú. P. 253-258
- WEINDENBACH, 1983. Erosión; protección contra la erosión, corrección de torrenteras. Escuela Forestal, Misión Forestal Alemana, Seminario, 15-31 Agosto. Cochabamba Bolivia. P. 4-10
- WORTHEN Y ALDRICH. 1967. Suelos agrícolas, su conservación y fertilización. Traducido por José Luís de La Loma. 2ed. UTEHA. México. P. 234-136

ANEXOS

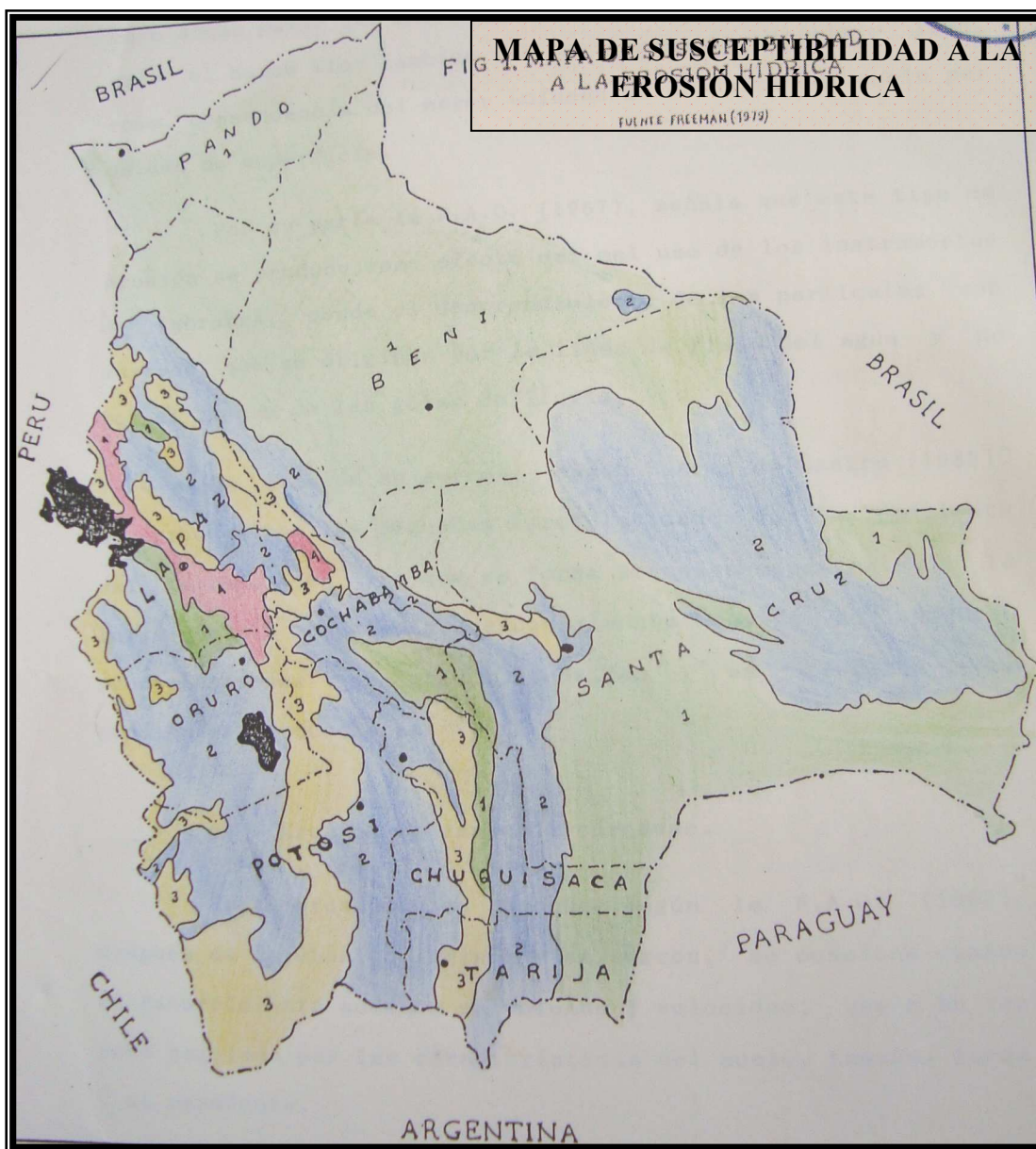
ANEXO 1: MAPAS DE INFORMACIÓN

A.1.1. Mapa que muestra áreas muy susceptibles a la erosión hídrica y áreas que se vuelven susceptibles al eliminar la vegetación natural en América y en la parte oriental como Europa y África.



Fuente: Manual de conservación de suelos y agua. Río Grande do sul. Secretaria de Agricultura (2004).

A.1.2. Mapa de Bolivia indicando los niveles de susceptibilidad a la erosión hídrica.



Fuente: Freeman, (1979).

REFERENCIAS:

Niveles de susceptibilidad.

1 = Ninguna a ligera

2 = Moderada

3 = Alta

4 = Muy alta

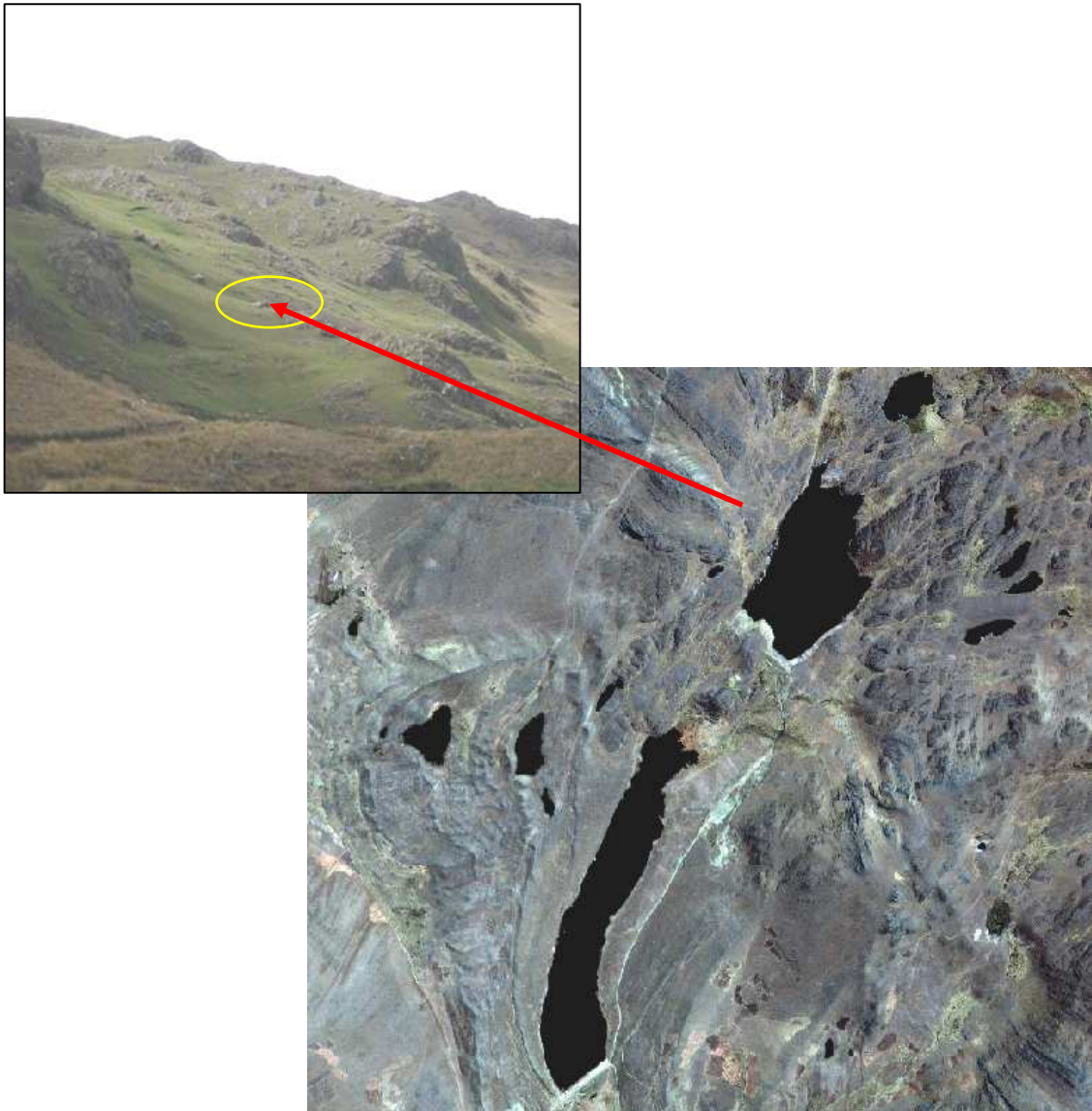
**ANEXO 2: GRADO DE EROSIÓN DE LOS SUELOS EN LAS ZONAS AGRÍCOLAS
DEL DEPARTAMENTO DE COCHABAMBA**

GRADO DE EROSIÓN	PUNA (Has)	VALLE ALTO (Has)	VALLES MIXQUE-AIQUILE (Has)	TOTAL
Sin erosión aparente	7.627	31.182	5.346	44.155
Erosión moderada	26.618	9.094	7.374	43.086
Erosión severa	28.379	3.032	3.354	34.765
Muy severa erosión	1.509	-----	-----	1.509
TOTAL	64.133	43.308	16.074	123.515

Fuente: CORDERO – MACA (1980).

ANEXO 3: FOTOGRAFIA DE DE LA ZONA DE ESTUDIO.

A.3.1. Día 14 de noviembre se inicio con la instalación de las parcelas de ensayo ubicado en la localidad de Villa Flores cercano a la presa Kewiña Kocho.



Fuente: Fundación PROINPA.

A.3.2. Fotografía tomada durante la preparación y después del instalado en la vegetación nativa.



Foto 1: Preparación



Foto 2: Parcela instalado

A.3.3. Instalación de los colectores de escurrimiento.



A.3.4. Fotografía donde se está realizando la apertura del canal de cabecera para cortar y desviar las aguas de escorrentía con la finalidad de evitar destrozos en los ensayos.



ANEXO 4: FOTOGRAFÍAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

A.4.1. Fotografía cuando se está realizando lectura del Pluviómetro.



A.4.2. En esta imagen se aprecia la medición de altura del agua en la unidad de almacenamiento.



A.4.3. Fotografía en el momento de toma de muestra de una de las parcelas de escorrentía.



A.4.4. Registrando datos en la parcela de escorrentía junto al encargado representante del proyecto en curso Dr. Heatwole.



ANEXO 5: FOTOGRAFÍAS DE PROCESAMIENTO DE MUESTRAS

A.5.1. Fotografía durante el etiquetado de cada muestra en todos los materiales que son utilizadas.



A.5.2. Fotografía de un proceso de filtración de muestras en el laboratorio para obtener las muestras secas de suelo.



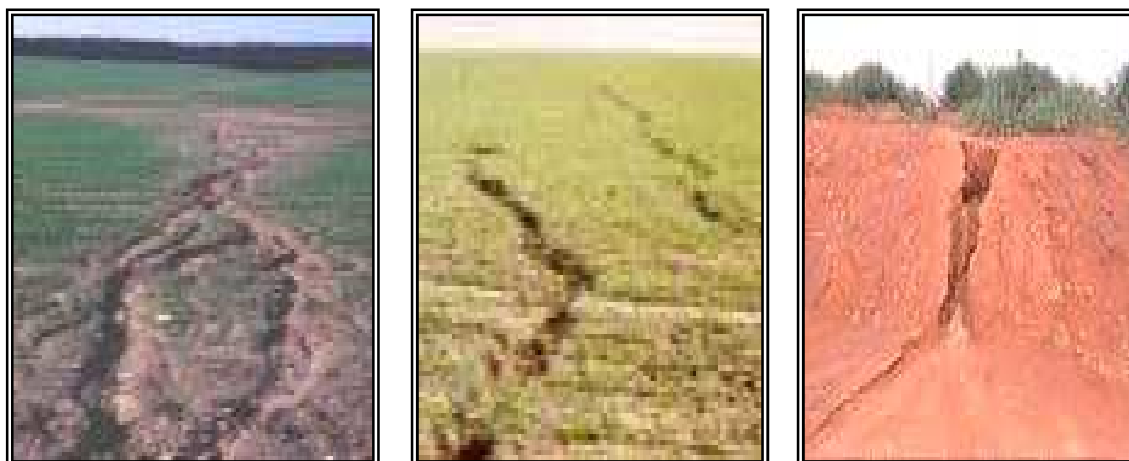
ANEXO 6: IMÁGENES SOBRE FORMAS DE EROSIÓN Y CONSERVACIÓN DE SUELOS

A.6.1. Imagen de un impacto de una gota de lluvia sobre un suelo carente de vegetación.



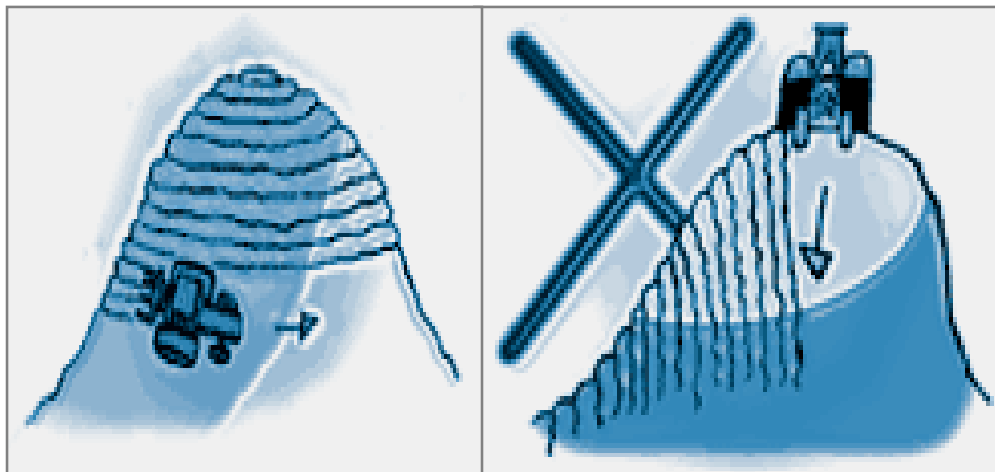
Fuente: Manual de conservación de suelo y agua. Rio Grande do Sul. Secretaria de Agricultura

A.6.2. Imágenes de erosión hídrica en forma de surcos.



Fuente: Manual de conservación de suelo y agua. Rio Grande do Sul. Secretaria de Agricultura

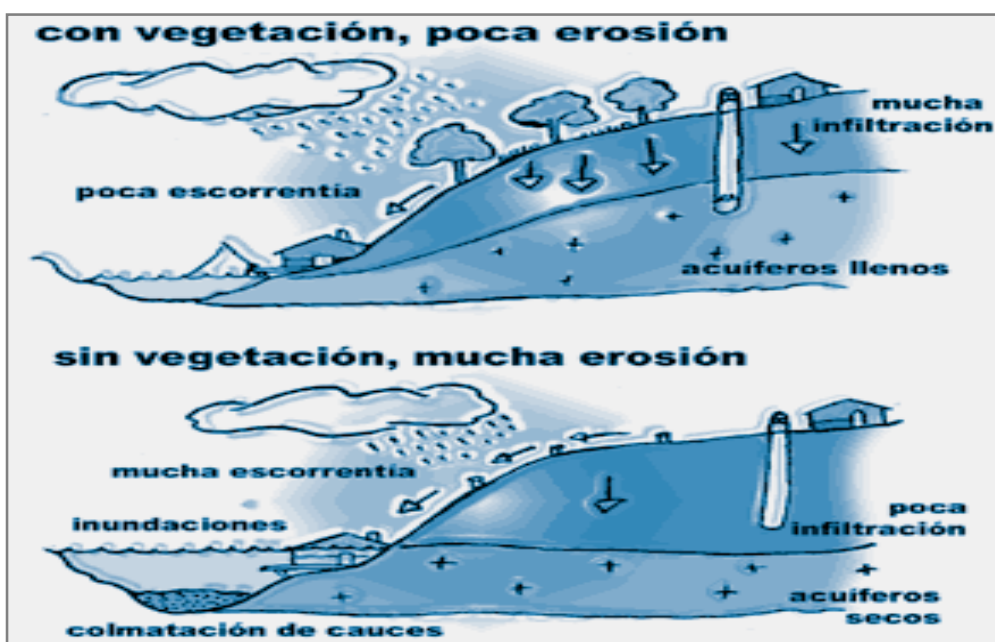
A.6.3. La siguiente imagen muestra la forma apropiada de abrir los surcos en un suelo con pendiente.



Recomendable

No recomendable

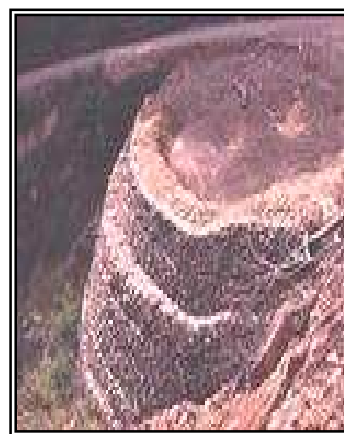
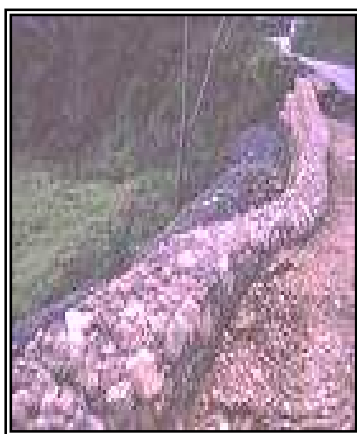
A.6.4. Existe mayor erosión en un suelo desprovisto de vegetación que en un suelo con cobertura vegetal.



A.6.5. Formas de prevenir la erosión de suelos con barreras vivas y construcción de gaviones en las franjas de seguridad.



A.6.6. Imágenes de algunos tipos de construcción como ser: Muros y gaviones, como técnicas de conservación de suelos.



A.6.7. Fotografía de un estudio con dos tipos de muestras de suelo, un suelo sin vegetación y el otro cubierto por la vegetación. Observe el color de las aguas escurridas mientras más oscuro lleva consigo mayor cantidad de partículas del suelo por lo tanto existe mayor erosión.



Agua de escorrentía con más sedimento, representa mayor erosión.

Agua de escorrentía limpia sin sedimento, representa menor erosión.

ANEXO 7: PLANILLA DE REGISTRO

A.7.1. Registro de datos de precipitaciones diarias durante el estudio.

FECHA	MESES DEL AÑO (2007 - 2008)					
	DICIEMBRE	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO
1					10	0,5
2		6,5	5		6	
3		10	8	3	3,2	
4				10	6,5	
5		6		3,5		
6		5		10		
7				25		
8		5	3	5	2	
9		24			1	3
10				15	1	
11		8,5	6	3,8		
12		73	2		3	
13				13		
14		5,5		12		
15						
16		15	2		2	
17					1	
18				0,5		
19		4		6,5		
20		22		3,5		
21			2		0,8	
22		14	6		1	
23		26	23		1	
24	2	18	4			
25		9	26,5			
26	6	20	7			
27		19	11			
28			6			
29			12		2	
30	1,5				7	
31	8	20				
TOTAL	17,5	310,5	123,5	110,8	47,5	3,5

En la página siguiente se presentará las planillas de cálculo del periodo de estudio de uno de los tratamientos como un ejemplo general para el resto de los tratamientos.

ANEXO 8: PLANILLAS DE CÁLCULO DE DICIEMBRE 2007 A MAYO 2008 PARA EL TRATAMIENTO (2) DE LA REPETICIÓN (3)

ENSAYO I Tratamiento 2

LOCALIDAD Villa Flores Repetición 3

AÑO 2007

DIA	MES	PRESIPITACIÓN (mm)	VOLUMEN ESCURRIDO (mm)	VOLUMEN ESCURRIDO (l)	C.E. Adimensional	VOLUMEN DE MUESTRA (l)	PESO DE SEDIMENTOS MUESTRA (g)	CONCENTRACIÓN DE SEDIMENTOS (gr/l)	MATERIAL SEDIMENTADO (gr/lote)	PESO DE SEDIMENTOS (Kg/Ha)	PESO TOTAL DEL SUELO EROSIONADO (Kg/Ha)
1											
2											
3											
4											
5											
6											
7											
8											
9											
10											
11											
12											
13											
14											
15											
16											
17											
18											
19											
20											
21											
22	Diciembre	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23	Diciembre	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
24	Diciembre	2	15 t	3.68527186	0.12576003	0.455	0.344	0.75604396	2.78622752	1.90160218	1.90160218
25	Diciembre	NAVIDAD									
26	Diciembre	6	143 b	0.90426446	0.01028602	0.45	1.962	4.36	3.94259306	2.69082245	2.69082245
27	Diciembre	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
28	Diciembre	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
29	Diciembre	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
30	Diciembre	1.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
31	Diciembre	8	110 b	2.36388186	0.02016689	0.45	3.38	7.51111111	17.7553793	12.1180585	12.1180585

ENSAYO I Tratamiento 2
LOCALIDAD Villa Flores Repetición 3
AÑO 2008

DIA	MES	PRESIPITACIÓN (mm)	VOLUMEN ESCURRIDO (mm)	VOLUMEN ESCURRIDO (l)	C.E. Adimensional	VOLUMEN DE MUESTRA (l)	PESO DE SEDIMENTOS MUESTRA (g)	CONCENTRACIÓN DE SEDIMENTOS (gr/l)	MATERIAL SEDIMENTADO (gr/lote)	PESO DE SEDIMENTOS (Kg/Ha)	PESO TOTAL DEL SUELO EROSIONADO (Kg/Ha)
1	Enero										
2	Enero	6.5	58 b	1.24641044	0.01308732	0.485	1.098	2.26391753	2.82177043	1.92586025	1.92586025
3	Enero	10	122 b	2.62175989	0.01789353	0.475	1.208	2.54315789	6.66754935	4.55060698	4.55060698
4	Enero	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	Enero	6	80 b	0	0	0.495	0.877	1.77171717	0	0	0
6	Enero	5	42 b	1.71918681	0.02346692	0.445	0.016	0.03595506	0.06181346	0.04218773	0.04218773
7	Enero	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	Enero	5	63 b	1.35385961	0.0184802	0.520	0.234	0.45	0.60923683	0.41580455	0.41580455
9	Enero	24	27 t	6.63348935	0.018864	0.445	1.264	2.84044944	18.8420911	12.85974	12.85974
10	Enero	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	Enero	8.5	98 b	2.10600384	0.01690999	0.520	1.351	2.59807692	5.47155998	3.73434342	3.73434342
12	Enero	73	155 t	38.0811425	0.0356033	0.480	4.722	9.8375	374.62324	255.680617	255.680617
13	Enero	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	Enero	5.5	65 b	1.39683928	0.01733352	0.515	0.47	0.91262136	1.27478537	0.87004188	0.87004188
15	Enero	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16	Enero	15	22 t	0.47277637	0.00215113	0.510	0.167	0.32745098	0.15481109	0.10565867	0.10565867
17	Enero	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18	Enero	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19	Enero	4	23 b	0.49426621	0.00843343	0.405	0.397	0.98024691	0.48450292	0.33067358	0.33067358
20	Enero	22	27 t	6.63348935	0.02057891	0.500	1.347	2.694	17.8706203	12.1967106	12.1967106
21	Enero										
22	Enero	14	181 b	3.88966016	0.01896211	0.515	0.523	1.01553398	3.95008206	2.6959337	2.6959337
23	Enero	26	30 t	7.37054372	0.0193477	0.485	0.273	0.5628866	4.14878028	2.83154537	2.83154537
24	Enero	18	15 t	3.68527186	0.01397334	0.515	2.809	5.45436893	20.1008323	13.7188318	13.7188318
25	Enero	9	105 b	2.25643269	0.0171113	0.495	0.391	0.78989899	1.7823539	1.21645775	1.21645775
26	Enero	20	95 t	23.3400551	0.07964802	0.520	2.068	3.97692308	92.8216038	63.3508079	63.3508079
27	Enero	19	135 t	33.1674467	0.11914108	0.515	1.036	2.01165049	66.7213103	45.5373398	45.5373398
28	Enero										
29	Enero										
30	Enero	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
31	Enero	20	40 t	9.82739162	0.03353601	0.490	3.068	6.26122449	61.5315051	41.9952942	41.9952942

ANEXO 9: ANÁLISIS FÍSICO – QUÍMICO DEL SUELO

ANEXO 10: CALIBRACIÓN DEL TANQUE DE ALMACENAMIENTO

A.10.1. Registro de datos obtenidos de la calibración de un tanque de almacenamiento de 40 cm, de 56,5 de diámetro y 100 litros de capacidad.

Volumen adicionado (lts)	Volumen acumulado (lts)	Carga parcial (cm)	Carga acumulada (cm)
3	3	1,5	1,53
3	6	1,5	3
4	10	1,5	4,5
10	20	4	8,5
10	30	4	12,5
10	40	3,9	16,4
10	50	4	20,4
20	70	8,4	28,8
10	80	4	32,8
10	90	4	36,8
9	99	3	39,8

A.10.2. Tabulación de V y H, para resolver la ecuación de la recta por el método de mínimos cuadrados.

V (lts)	h (cm)	v ²	h ²	vh
3	1,5	9	2,25	4,5
6	3	36	9	18
10	4,5	100	20,25	45
20	8,5	400	72,25	170
30	12,5	900	156,25	375
40	16,4	1600	268,96	656
50	20,4	2500	416,16	1020
70	28,8	4900	829,44	2016
80	32,8	6400	1075,84	2624
90	36,8	8100	1354,24	3312
99	39,8	9801	1584,04	3940,2
498	205	34746	5788,68	14180,7

A.10.3. Predicción de la fórmula para calcular la esorrentía.

1. $V = a + bh$

Donde: V = Volumen acumulado en el tanque (Its)
 a y b = Coeficientes
 h = Carga en el tanque (cm)

2.
$$\frac{\sum Vh - \frac{\sum V * \sum h}{n}}{(\sum h)^2 - \frac{\sum h^2}{n}}$$

3. $a = \bar{V} - b\bar{h}$

Donde:

$$\bar{V} = \frac{\sum V}{n}$$

$$\bar{h} = \frac{\sum h}{n}$$