

**UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
FACULTAD DE AGRONOMÍA
CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA**



TESIS DE GRADO

**EVALUACIÓN DE LA EROSIÓN HÍDRICA DE SUELOS BAJO
DIFERENTES ASOCIACIONES DE COBERTURA VEGETAL EN
LAS COMUNIDADES DE AIROIRAMA Y MALAVI SIVINGAL
PROVINCIA LOAYZA LA PAZ**

WILSON GENARO CAMACHO GARCÍA

**La Paz, Bolivia
2006**

Universidad Mayor de San Andrés
Facultad de Agronomía
Carrera de Ingeniería Agronómica

**EVALUACION DE LA EROSION HIDRICA DE SUELOS BAJO
DIFERENTES ASOCIACIONES DE COBERTURA VEGETAL EN
LAS COMUNIDADES DE AIROIRAMA Y MALAVI SIVINGAL
PROVINCIA LOAYZA LA PAZ**

*Tesis de Grado presentado como requisito
parcial para optar el Título de
Ingeniero Agrónomo*

WILSON GENARO CAMACHO GARCÍA

Tutor (es)

Ing. Lucio Tito Villca

Asesores:

Ing. Ph. D. Vladimir Orsag Céspedes

Ing. Paulino Ruiz Huanca

Comité Revisor:

Ing. Roberto Miranda Casas

Ing. M.Sc. Félix Rojas Ponce

Ing. Luis Goitia Arze

APROBADA

Decano:

Ing. M.Sc. Jorge Pascuali Cabrera

El presente trabajo de investigación va dedicado a mis padres: (+) Pedro Camacho Z. y Enriqueta García V. por su apoyo moral durante mi vida universitaria.

Agradecimientos

- Agradezco a Dios y al Apóstol Santiago por darme el don de obtener una profesión.
- Así también a mi abuela (+) Alina García Valle, por incentivar-me a ser, algo en la vida.
- A mis hermanas por su constante apoyo moral.
- A los Ingenieros: Vladimir Orsag Céspedes, Paulino Ruíz Huanca por su asesoramiento y a Lucio Tito Villca por su colaboración y amistad.
- A los Ingenieros: Roberto Miranda Casas, Félix Rojas Ponce, Luís Goitia Arze miembros del tribunal revisor por sus aportes al presente trabajo y apoyo desinteresado.
- Al Lic. Jorge Mostajo Peñaranda por ser un Docente que me apoyo moralmente durante mi vida Universitaria.
- Al PROYECTO UNIR U.M.S.A, a mis compañeros de estudio, como a los administrativos de la Facultad que me prestaron su colaboración en su oportunidad.
- A los comunarios de Airoirama y Malavi Sivingal, sin cuya ayuda, colaboración y amistad me habría sido difícil llevar adelante este trabajo de investigación.
- A todas las personas que me apoyaron moralmente.

Índice

Índice.....	i
Índice de gráficas.....	v
Índice de cuadros.....	vi
Índice de fotografías.....	vii
Resumen.....	viii
I Introducción.....	1
II. Objetivos.....	2
2.1 Objetivo general	
2.2 Objetivos específicos	
2.3 Hipótesis	
III. Revisión Bibliográfica.....	3
3.1 La erosión del suelo	
3.1.1 El desarrollo de la investigación sobre la erosión	
3.1.2 Agentes erosivos	
3.1.3 Fases del proceso erosivo.....	4
3.1.4 Extensión y naturaleza de la erosión	
3.1.5 Límites aceptables de la erosión.....	6
3.1.6 La erosión hídrica.....	8
3.1.6.1 Formas de erosión hídrica.....	9
3.1.6.1.1 Erosión laminar	
3.1.6.1.2 Erosión en surcos	
3.1.6.1.3 Erosión en cárcavas	
3.1.6.1.4 Erosión en masa	
3.1.7 Mecanismos de la erosión hídrica.....	10
3.1.8 Métodos para evaluar la erosión hídrica	
3.1.8.1 Parcelas de escurrimiento	
3.2 Causas y factores que determinan la erosión del suelo.....	11
3.2.1 Factores relacionados con el suelo	
3.2.1.1 Distribución del tamaño de partículas	
3.2.1.2 Agregados del suelo	
3.2.1.3 El perfil del suelo	
3.2.1.4 Erodabilidad de los suelos.....	12

3.2.1.5	Degradación química	
3.2.2	Factores relacionados con la precipitación pluvial	
3.2.2.1	Intensidad	
3.2.2.2	Acción erosiva de las gotas de lluvia.....	13
3.2.2.3	El salpique o salpicadura.....	14
3.2.2.4	Erosión por escurrimiento o escorrentía	
3.2.2.5	Erosividad de las lluvias.....	15
3.2.3	Topografía	
3.2.3.1	Fisiografía	
3.2.3.1.1	Pendiente	
3.2.3.1.2	Grado y longitud de la pendiente como factor de erosión...	16
3.2.4	Factores relacionados con la vegetación.....	17
3.2.4.1	Pendientes completamente cubiertas de vegetación	
3.2.4.2	Pendientes parcialmente cubiertas por vegetación	
3.2.4.3	Ausencia de vegetación	
3.2.4.4	La cobertura vegetal.....	18
3.2.4.5	Características e importancia de la cobertura vegetal	
3.2.4.6	Protección y aumento de fertilidad del suelo.....	19
3.2.4.7	El tipo de cubierta vegetal es importante.....	20
3.2.4.8	Importancia de las plantas que crecen juntas	
3.2.4.9	El Algarrobo.....	21
3.2.4.10	El Molle	
3.2.4.11	La Tuna	
3.2.4.12	La Cañahueca.....	22
3.2.4.13	El Atriplex	
3.2.4.14	Efecto de la cobertura sobre la materia orgánica	
IV	Materiales y Métodos.....	23
4.1	Localización	
4.1.1	Ubicación geográfica	
4.1.2	Clima	
4.1.2.1	Zona de vida	
4.1.2.2	Precipitación y temperatura.....	25
4.1.3	Fisiografía.....	26
4.1.4	Suelo.....	27
4.1.5	Ecología	
4.1.6	Hidrología.....	28
4.1.7	Vegetación	
4.1.8	Uso actual de la tierra.....	29
4.1.8.1	Agricultura	
4.1.8.2	Ganadería	
4.2	Materiales.....	30
4.2.1	Equipos de medición de la escorrentía y erosión	
4.2.2	Equipo para medir las precipitaciones.....	31
4.2.3	Equipo de laboratorio	

4.2.4	Material de escritorio	
4.2.5	Materiales varios	
4.3	Metodología	32
4.3.1	Pre campo	
4.3.2	Campo	
4.3.2.1	Elección del sitio	
4.3.2.2	Caracterización de las unidades de suelo	33
4.3.2.3	Muestreo de suelo	
4.3.2.4	Metodología experimental	34
4.3.2.5	Instalación de las parcelas de escurrimiento	35
4.3.2.6	Mecanismo del sistema de alícuotas	
4.3.2.7	Metodología para la cuantificación del escurrimiento y recolección del material de arrastre	36
4.3.2.8	Registro de la precipitación	37
4.3.2.9	Registro de la cobertura vegetal	
4.3.3	Laboratorio	38
4.3.4	Procedimiento experimental	
4.3.5	Variables de respuesta	40
V.	Resultados y Discusión	41
5.1	Suelo y vegetación	
5.1.1	Caracterización de las unidades de suelo	
5.1.1.1	Parte alta pie de monte (PAPM)	42
5.1.1.1.1	Características generales	
5.1.1.1.2	Descripción del perfil	
5.1.1.1.3	Resultados del análisis físico-químico	45
5.1.1.2	Parte media pie de monte (PMPM)	46
5.1.1.2.1	Características generales de la unidad	
5.1.1.2.2	Descripción del perfil	
5.1.1.2.3	Resultados del análisis físico-químico	49
5.1.2	Evaluación de la vegetación por unidad geomorfológica	51
5.1.2.1	Especies de la parte alta (pie de monte)	
5.1.2.1.1	Porcentaje, diámetro y altura de plantas por parcela de la parte alta (pie de monte)	52
5.1.2.2	Especies de la parte media (pie de monte)	53
5.1.2.2.1	Porcentaje, diámetro y altura de plantas por parcela de la parte media (pie de monte)	54
5.2	Comportamiento de las variables climáticas	57
5.2.1	Temperatura	
5.2.2	Precipitación	58
5.2.2.1	Comportamiento de las precipitaciones	59
5.2.2.2	Intensidad	60
5.2.2.3	Balance hídrico	61

5.3	Escurrimiento.....	62
5.3.1	Tipo de partículas que son arrastrados por el escurrimiento.....	64
5.4	Evaluación de la pérdida de suelo.....	67
5.4.1	Pérdida de suelo por unidad experimental.....	70
5.4.2	Comportamiento de las parcelas según el escurrimiento y pérdida de suelo.....	74
5.4.3	Pérdida de suelo según porcentaje y tipo de cubierta vegetal	
5.4.4	Pérdida de suelo según la pendiente.....	76
5.5	Correlación de las variables de respuesta por parcela	
5.6	Análisis de regresión lineal múltiple para pérdida de suelo versus precipitación, escurrimiento e intensidad según parcelas.....	77
VI.	Conclusiones y Recomendaciones.....	83
6.1	Conclusiones	
6.2	Recomendaciones.....	85
VII	Bibliografía.....	86
Anexos	91

Índice de Gráficas

Gráfica 1.	Ubicación del área de estudio.....	24
Gráfica 2.	Datos promedio gestión 1997-2001 de precipitación, humedad relativa y temperatura de las estaciones metereológicas de Luribay y Caracato.....	25
Gráfica 3.	Croquis de las parcelas de escorrentía	
Gráfica 4.	Parcela de escorrentía corte transversal.....	35
Gráfica 5.	Vista isométrica de la parcela de escurrimiento.....	36
Gráfica 6.	Porcentaje de especies en las parcelas de la parte alta pie de monte.....	52
Gráfica 7.	Porcentaje de especies en las parcelas de la parte media pie de monte.....	55
Gráfica 8.	Representación gráfica de la temperatura promedio.....	58
Gráfica 9.	Precipitación mensual 2003-2004 de la comunidad de Malavi Sivingal y promedio de 10 años (1994 – 2003) estación metereológica de Luribay.....	59
Gráfica 10.	Balance hídrico Blaney Criddle.....	61
Gráfica 11.	Escurrimiento mensual (m^3/ha).....	63
Gráfica 12.	Comparación de medias del escurrimiento (m^3/ha).....	66
Gráfica 13.	Pérdida de suelo mensual y por parcela (kg/ha) de la parte alta pie de monte.....	68
Gráfica 14.	Pérdida de suelo mensual y por parcela (kg/ha) de la parte media pie de monte.....	69
Gráfica 15.	Comparación de medias de pérdida de suelo (kg).....	73
Gráfica 16.	Pérdida de suelo según el porcentaje de cobertura vegetal.....	75

Índice de Cuadros

Cuadro 1. Intensidad.....	13
Cuadro 2. Energía cinética de la lluvia y de la esorrentía.....	14
Cuadro 3. Influencia de la pendiente sobre la cantidad de suelo perdido.....	16
Cuadro 4. Clasificación de suelos de la provincia Loayza.....	27
Cuadro 5. Vegetación frecuente.....	28
Cuadro 6. Agricultura.....	29
Cuadro 7. Posición de la toma de muestras de suelo.....	34
Cuadro 8. Resultados del análisis físico-químico de la unidad "PAPM".....	47
Cuadro 9. Resultados del análisis físico-químico de la unidad "PMPM".....	49
Cuadro 10. Descripción de especies de la parte alta pie de monte.....	51
Cuadro 11. Diámetro y altura de plantas de la parte alta (pie de monte).....	52
Cuadro 12. Descripción de especies de la parte media pie de monte.....	54
Cuadro 13. Diámetro y altura de plantas de la parte media (pie de monte).....	55
Cuadro 14. Datos metereológicos.....	57
Cuadro 15. Registro de las precipitaciones mensuales durante el estudio.....	59
Cuadro 16. Balance hídrico.....	61
Cuadro 17. Ecurrimiento mensual.....	62
Cuadro 18. Partículas arrastradas por escurrimiento.....	64
Cuadro 19. Análisis de varianza para el escurrimiento superficial (m ³ /ha).....	65
Cuadro 20. Comparación de medias por estrato y parcelas	
Cuadro 21. Comparación de medias entre estratos.....	66
Cuadro 22. Comparación de promedios (Duncan).....	67
Cuadro 23. Pérdida de suelo (kg/ha) según asociaciones y mes de cada parcela en la parte alta de pie de monte	
Cuadro 24. Pérdida de suelo (kg/ha) según asociaciones y mes de cada parcela en la parte media del pie de monte.....	69
Cuadro 25. Tazas de pérdida de suelo por asociación, precipitación en t/ha/año Parte alta pie de monte y parte media pie de monte.....	70
Cuadro 26. Análisis de varianza de las pérdidas de suelo (kg).....	72
Cuadro 27. Comparación de medias por estrato y parcelas.....	73
Cuadro 28. Comparación de medias entre estratos	
Cuadro 29. Comparación de promedios (Duncan).....	74
Cuadro 30. Regresión lineal múltiple de la parcela 1.....	77
Cuadro 31. Regresión lineal múltiple de la parcela 2.....	78
Cuadro 32. Regresión lineal múltiple de la parcela 3.....	79
Cuadro 33. Regresión lineal múltiple de la parcela 1a.....	80
Cuadro 34. Regresión lineal múltiple de la parcela 2a.....	81
Cuadro 35. Regresión lineal múltiple de la parcela 3a.....	82

Índice de fotografías

Fotografía 1. Vista panorámica del paisaje de la zona de Sapahaqui.....	26
Fotografía 2. Ganado vacuno.....	30
Fotografía 3. Uso de GPs´.....	32
Fotografía 4. Apertura y descripción de calicatas.....	33
Fotografía 5. Instalación del pluviómetro.....	37
Fotografía 6. Unidades geomorfológicas.....	41
Fotografía 7. Perfil del suelo parte alta pie de monte.....	44
Fotografía 8. Perfil del suelo parte media pie de monte.....	48

Resumen

A fin de evaluar la erosión hídrica de suelos, se realizó el presente trabajo de investigación durante el periodo de lluvias 2003 – 2004 en las comunidades de Airoirama y Malavi Sivingal del Cantón Caracato, Segunda sección Municipal de la Provincia Loayza del Departamento de La Paz (Valles interandinos), ubicados Geográficamente a los 17° 47' de latitud Sur y de 67° 47' de longitud Oeste y se encuentran aproximadamente a 125 km. de la ciudad, a una altitud de 2.500 m.s.n.m.

Para cuantificar el efecto de las coberturas vegetales se estableció 3 parcelas de escurrimiento en la parte alta (pie de monte) con asociaciones de molle, cañahueca, atriplex rastrera, como también atriplex erecto, tuna, atriplex rastrera y la asociación de algarrobo, acacia, tuna, laburdum y 3 parcelas de escurrimiento en la parte media (pie de monte) con asociaciones de similares características a las anteriores parcelas, contando cada parcela con 11 m de largo y 3 m de ancho, aisladas con planchas de calamina plana y conectados a través de canaletas a las cubetas de sedimentación en pendientes de 15-18%, para medir directamente los escurrimientos y pérdidas de suelo.

El comportamiento de las asociaciones se diferenciaron entre si, donde la asociación de algarrobo-acacia-tuna-laburdum tubo una pérdida de suelo de 2,02 y 0,47 t/ha/año, la asociación de atriplex erecto-tuna-atríplex rastrera tubo una pérdida de 0,87 y de 0,78 t/ha/año y la asociación de molle-cañahueca-atríplex rastrera tubo una pérdida de 0,29 y de 0,29 t/ha/año, constituyéndose esta asociación como la más efectiva en el control de erosión.

Las precipitaciones ocurridas durante el mes de diciembre de 2003 y de los meses de enero, febrero, marzo, abril, mayo y junio de 2004 presentaron 185,7 mm., donde podemos indicar que los meses de enero y febrero fueron los que registraron mayores escurrimientos y pérdidas de suelo, aportando con el 23,89 y 29,54% del total de la erosión.

I. INTRODUCCIÓN

En el área de los valles y el altiplano del país, la erosión reviste situaciones de gravedad en todas sus formas. La fragilidad de los suelos, pendientes generalmente fuertes, el mal uso de los suelos, el sobrepastoreo y la deforestación son causantes principalmente de la gravedad del problema.

Se estima que la deforestación del país asciende a 100.000 has/año, debido a la tala sistemática que por largo tiempo se ha venido efectuando, tanto para actividades productivas, tales como la minería, como para el uso de la familia campesina, hecho que ha llevado a la desaparición de los bosques naturales y a la extinción de algunas especies nativas especialmente en el altiplano y valles.

Es el caso de los comunarios de la provincia Loayza específicamente en las comunidades de Airoirama y Malavi Sivingal, donde ellos proceden a extraer árboles y arbustos, para poder utilizar como barreras muertas para controlar los efectos climáticos, colocar como murallas al contorno de sus terrenos y poder cosechar con facilidad las tunas lo cual es su fuente de ingreso, a tener otras especies que sirvan como cubierta vegetal.

El presente trabajo tubo por objeto realizar una comparación de coberturas vegetales como controladores de erosión de suelos, para que mediante el mismo nos permita trazar estrategias en la preservación del recurso suelo y plantear programas de repoblamiento, con especies que ofrezcan resistencia a la erosión especialmente en época lluviosa.

II. OBJETIVOS

2.1 Objetivo general

- Determinar el efecto de la cobertura vegetal en el control de la erosión hídrica de suelos en las Comunidades de Airoirama y Malavi Sivingal de la Provincia Loayza del Departamento de La Paz.

2.2 Objetivos específicos

- Determinar el comportamiento climático respecto al promedio de 10 años.
- Estudiar e Identificar a las especies existentes en la zona como controladores de erosión hídrica.
- Caracterizar los suelos del área e inferir su comportamiento frente a las asociaciones de cobertura vegetal.
- Determinar el comportamiento de las asociaciones de cobertura vegetal en diferentes tipos de suelos.
- Comparar el grado de incidencia de erosión hídrica de suelos en las diferentes asociaciones de cobertura vegetal.

2.3 HIPOTESIS

- Los diferentes tipos de suelo no infieren frente a las asociaciones de cobertura vegetal
- No existe incidencia significativa de la erosión hídrica de suelos en las diferentes asociaciones de cobertura vegetal.

III. REVISIÓN BIBLIOGRAFICA

3.1 La erosión del suelo

Kirkby (1994), indica que la erosión del suelo es la remoción del material superficial por acción del viento o del agua.

Hudson (1982), indica que la erosión del suelo constituye una seria amenaza no solo para el bienestar humano, sino para su propia existencia y esto demuestra por el hecho de que la mayoría de los gobiernos extraeuropeos apoyan activamente los programas de conservación de suelo.

3.1.1 El desarrollo de la investigación sobre la erosión

Hudson (1982), menciona que las primeras investigaciones científicas sobre la erosión fueron llevadas a cabo por el edafólogo alemán WOLLNY, entre 1877 y 1895. Se utilizaron pequeñas parcelas para medir una gran variedad de efectos, tales como el papel de la vegetación y el “mulching” en la intercepción de la lluvia y en el deterioro de la estructura del suelo, y los efectos del tipo de suelo y la pendiente en la evacuación y erosión.

3.1.2 Agentes erosivos

Hudson (1982), indica que la erosión es esencialmente un proceso de suavización o nivelación, en el que el suelo y las partículas rocosas son transportados, rodados y arrastrados por la fuerza de la gravedad. Los principales agentes que intervienen en la disolución y ruptura de las partículas son el viento y el agua.

El mismo autor señala que el agua es probablemente el agente erosivo más importante. Lluvia, barrancos y ríos arrastran lejos el suelo y las olas erosionan las

orillas de los mares y lagos; de hecho, donde quiera que el agua este en movimiento, erosiona sus contornos.

3.1.3 Fases del proceso erosivo

Hudson (1982), menciona que las tres fases básicas son erosión, transporte y sedimentación; reaccionando los diferentes suelos de manera distinta en cada una de las tres fases. Por ejemplo, las partículas de arena fina son más fácilmente desprendidas que las de un suelo arcilloso, pero las partículas de arcilla son más fácilmente transportadas que las arenas. Por ello es necesario definir la naturaleza de la erosión cuando hablamos de la mayor o menor facilidad con que se erosiona un suelo.

3.1.4 Extensión y naturaleza de la erosión

Brockmann (1986), menciona que las estimaciones de la superficie del suelo afectada por la erosión en el país, oscila entre el 35 % y el 41 %, es decir aproximadamente 418.000 km² presentan este problema, los que cubren superficies importantes, tanto en las áreas de agricultura tradicional como en las de colonización. En ambos casos, los usuarios del suelo no han desarrollado ninguna conciencia sobre los problemas derivados de este fenómeno.

El mismo autor indica que los problemas de la erosión pluvial, en algunos casos, se hallan relacionados con el relieve escarpado, como en el caso de los yungas, donde la remoción de la vegetación natural facilito la acción de las aguas que tratan de encontrar su nuevo perfil de equilibrio, ocurriendo fenómenos semejantes en los valles. En Bolivia se reconocieron las 7 formas de erosión hídrica que resultan de procesos externos a los suelos, las cuales incluyen:

- 1) **Erosión superficial**, Desprendimiento de partículas de suelo por impacto de las gotas de lluvia y remoción por escurrimiento superficial.

- 2) **Erosión por riachuelos**, Remoción de material de superficie y de subsuelo, canales perpendiculares, como una serie de incisiones a un campo, generalmente cultivado.
- 3) **Erosión acanalada**, Remoción de suelos y material de tierras arriba y formación de canales causados por el flujo concentrado de las aguas.
- 4) **Erosión de riberas de ríos**, Remoción de material en riberas de ríos, causada por la fuerza del escurrimiento del agua y por socavamiento de las riberas.
- 5) **Degradación de los lechos de corrientes de agua**, Remoción y traslado de material de los lechos de ríos y cortes perpendiculares de los lechos naturales.
- 6) **Barrido de superficies planas inundadas**, Erosión de la superficie de planos inundados, por flujo de aguas de inundación.
- 7) **Formación de trincheras en los valles**, Formación y ensanchamiento de un canal bien definido en un plano inundado o en otros depósitos aluviales.

También menciona que fue posible identificar algunas formas de erosión interna, debido a procesos generados dentro de los mismos suelos, tales como:

- 1) **Flujo de lodos**. El efecto más simple del agua dentro de un suelo es la saturación de una capa superior como consecuencia de una fuerte lluvia. Si el suelo es pelado o si su vegetación no tiene propiedades cohesivas, una masa de tierra puede ser transformada en un líquido viscoso y ella fluye pendiente abajo.
- 2) **Arrastre de suelo**. Constituye un movimiento lento e imperceptible de una capa delgada superficial de suelo que fluye hacia el fondo de una pendiente.

- 3) **Erosión subterránea.** Aparte de la saturación del suelo, puede ocurrir a diferentes niveles, el agua puede efectuar una acción erosiva interna sobre ciertas categorías de suelos y rocas. En este caso, el agua actúa por medio de la desintegración y de la circulación subterránea.
- 4) **Resbalamiento de tierras.** Una masa de material que resbala pendiente abajo a lo largo de una capa sobresaturada causando fosas de separación.
- 5) **Deslizamiento de tierras.** Esta forma de movimiento de una masa de tierra es muy común y se debe a la pérdida de estabilidad de una masa de tierra o roca, después de una acción de socavamiento en su base.

El mismo autor señala que los daños causados por estas formas de erosión, entre otros, son los siguientes:

- Reducción de la productividad del suelo
- Producción de sedimentos
- Pérdida de tierras
- Desprendimiento de tierras
- Daños contra estructuras y caminos
- Descenso de napas acuíferas
- Cambio climático

3.1.5 Límites aceptables de la erosión

Hudson (1982), menciona que el objetivo de los conservacionistas del suelo es garantizar que la tierra sea utilizada de tal forma que pueda producir indefinidamente, lo que significa que no existe un deterioro progresivo. Ello se consigue cuando la tasa de pérdida de suelo no es superior a la tasa de formación de suelo. Esta última no puede medirse con precisión, pero las estimaciones más acertadas de los edafólogos indican que bajo condiciones no alteradas son necesarios del orden de

300 años para producir 25 mm de suelo, pero si las alteraciones, la aireación y la lixiviación son muy rápidas por efecto del arado, se necesitan aproximadamente 30 años. Una tasa de formación de 25 mm en 30 años significa unas 12,5 t/ha/año tomándose a esta cifra como objetivo el cual no debe ser superado.

Según la FAO (1967). Indica que la tolerancia de pérdida de suelo es la cantidad de suelo, expresada en toneladas por unidad de superficie, que un suelo puede perder sin dejar por ello de conservar todavía durante largo tiempo un gran índice de productividad.

El mismo autor señala que una pérdida de 12,5 toneladas por hectárea y año es tolerable en los suelos de gran espesor, permeables y bien avenados (suelos limosos profundos). Una pérdida de 2 a 4 toneladas de suelo por hectárea se puede consentir en los suelos con subsuelo desfavorable, como los que presentan poco espesor hasta la roca subyacente. En los demás suelos se toleran pérdidas intermedias entre estas dos. Al establecer los límites de las pérdidas de suelo que pueden tolerarse para cada tipo de suelo debe tenerse en cuenta lo siguiente:

- Hay que mantener un espesor adecuado del suelo, favorable para la producción agrícola y forestal durante largo tiempo. Debe tenerse presente el efecto de la erosión del suelo sobre los rendimientos de los cultivos en los suelos de que se trate.
- Las pérdidas de suelo han de ser inferiores a las que ocasionan una grave formación de surcos y la formación de cárcavas.
- Las pérdidas de suelo deben ser inferiores a las que causan un considerable aterramiento en los cauces de desagüe, los cauces de las terrazas, las zanjas de avenamiento, cunetas de carreteras, etc.

- Deben pensarse en reducir el escurrimiento y favorecer la absorción de agua para que el suelo retenga mas agua para uso de las plantas, especialmente durante los periodos de lluvias escasas.
- La erosión ocasiona, por la denudación o el aterramiento, pérdidas de semillas, lo que se traduce en cultivos pobres. Las pérdidas de suelo no deben llegar al punto en que esto constituya un problema grave.

Chilon (1994), estima que la erosión máxima, para una velocidad de formación de 5 mm de suelo en 30 años, equivale aproximadamente a 1,8 t/ha/año, estas cantidades para un suelo franco (Dap 1,5 g/cc) representa la pérdida de una capa de suelo 0,28 mm/ha/año a 1,28 mm/ha/año en suelos profundos bien drenados y permeables y pérdidas de 0,4 a 0,8 mm/ha/año en suelos profundos con subsuelo rocoso.

3.1.6 La erosión hídrica

Peñaranda (2003), menciona que la erosión hídrica es el proceso de desintegración y transporte de las partículas del suelo por acción del agua en movimiento. Dos son sus causas fundamentales: a) el impacto de las gotas de lluvia sobre el suelo y sobre el agua que lo cubre y lo mantiene en suspensión. b) el movimiento del agua por causa de las diferencias de nivel del terreno que determina el arrastre de las partículas edáficas.

CONAMA (1994) citado por el programa Nacional de Lucha Contra la Desertificación y la Sequía, indica que la erosión hídrica es probablemente la forma más completa o determinante de la degradación del suelo. Los procesos erosivos de naturaleza hídrica acarrear importantes alteraciones físicas, químicas y biológicas en las propiedades del suelo, reduciendo la capacidad productiva de las tierras.

Orsag (1998) señala que la erosión hídrica es el proceso erosivo que se debe a la acción del agua sobre el suelo, la misma que comprende la acción de dos agentes: la lluvia y la escorrentía.

3.1.6.1 Formas de erosión hídrica

D'onofrio et. al. (1995), señalan que se puede observar cuatro formas claramente distinguidas:

3.1.6.1.1 Erosión laminar Es la más dañina, su efecto es poco visible. Esta erosión corresponde a una pérdida anual del suelo de 15 -30 t/ha/año. Este tipo de erosión es selectivo, o sea que la energía del escurrimiento de la película de agua puede arrastrar solamente elementos livianos como arcilla, limo, materia orgánica, residuos de cultivos y elementos nutritivos minerales.

3.1.6.1.2 Erosión en surcos Ocurre cuando la intensidad de la lluvia supera la capacidad de infiltración de la superficie del suelo. La cantidad de agua no infiltrada (en condiciones de pendiente) escurre y cuando alcanza una velocidad de 25 cm/seg adquiere una energía capaz de provocar una erosión limitada en el espacio por las líneas de escurrimiento (surcos). Esta energía cinética es capaz de arrastrar primero superficialmente, de manera creciente y con profundos elementos cada vez más gruesos no solamente de arcilla, limo, materia orgánica sino también elementos nutritivos útiles para la alimentación de la planta.

3.1.6.1.3 Erosión en cárcavas Es también conocida como una evolución de la erosión en surco. Una falta de acción correctiva para eliminar la causa de la erosión en surco a largo plazo tiene casi siempre como consecuencia el desarrollo de cárcavas que son la pérdida de superficie que va en aumento cada año.

3.1.6.1.4 Erosión en masa Este tipo de erosión no es causado por el agua externa del suelo, sino por el agua al interior de una cobertura pedológica con pendiente.

3.1.7 Mecanismos de la erosión hídrica

Kirkby (1994), considera que la erosión de los suelos se debe a la remoción del suelo a una tasa mayor que la de su formación y se atribuye principalmente al hombre y sus actividades.

3.1.8 Métodos para evaluar la erosión hídrica

Orsag (1998), menciona que la medición o evaluación de la erosión es de suma importancia e imprescindible para conocer la magnitud del problema y poder de esta manera planificar el manejo y uso adecuado de los suelos a través de la incorporación de prácticas conservacionistas. Para determinar en forma cuantitativa la pérdida de suelo, se pueden utilizar los siguientes métodos:

- Parcelas de escurrimiento
- Simuladores de lluvia
- Observaciones directas en campo
- Modelos matemáticos

3.1.8.1 Parcelas de escurrimiento

Tito (1997), comenta que las parcelas de escurrimiento son superficies rectangulares cuyo eje longitudinal está orientado hacia la pendiente en los bordes se encuentran estructuras que concentran la escurrimiento y los sedimentos provenientes de las parcelas por efecto de la erosión hídrica.

Morgan (1997), indica que estas parcelas sirven para determinar en forma experimental la cantidad de suelo (peso) que se pierde por acción de la lluvia en un determinado tiempo.

FAO (1967), señala que las parcelas de escurrimiento se utilizaron para medir el escurrimiento y la erosión del suelo en superficies pequeñas.

3.2 Causas y factores que determinan la erosión del suelo

3.2.1 Factores relacionados con el suelo

3.2.1.1 Distribución del tamaño de partículas

Kirkby (1994), indica que la erosión del terreno arable ocurre a menudo sobre suelos arenosos y limosos. Con menor frecuencia se ha notado que algunas arcillas y suelos arcillosos también son erosionables.

3.2.1.2 Agregados del suelo

La proporción de agregados estables acuosos menores a 0,5 mm en un suelo es un buen índice de erodabilidad, mientras mayor sea la proporción de agregados < 0,5 mm mayor será la erodabilidad del suelo. Generalmente, los suelos arenosos son mas fácilmente erosionables por efecto de la precipitación pluvial simulada que los suelos arcillosos, ya que los agregados de estos suelos arenosos se asientan mas rápidamente y sellan la superficie del suelo. Los suelos con mayor contenido de arcilla y de materia orgánica tienen agregados mas estables debido a los fuertes lazos que existen entre los coloides (Kirkby ,1994).

3.2.1.3 El perfil del suelo

Kirkby, (1994) señala que el perfil del suelo a menudo determina la severidad de la erosión. Los horizontes del suelo debajo del horizonte A u horizonte de labranza (Ap) a menudo son más compactos y menos erosionables. Si cerca de la superficie hay una base rocosa resistente solo se formaran arroyuelos, mientras que si la materia de origen todavía esta sin consolidar, como por ejemplo tratándose de arenas y gravas o loess, pueden tallarse entonces profundas cárcavas. Los suelos con

horizonte B de estructura prismática se drenan fácilmente, pero los suelos con un horizonte de estructura mala, compacta, o una estructura laminar desarrollada impiden el drenaje.

3.2.1.4 Erodabilidad de los suelos

Hudson (1982), indica que es la vulnerabilidad o susceptibilidad del suelo a la erosión. Un suelo con erodabilidad elevada sufrirá más erosión que un suelo con erodabilidad baja si ambos están expuestos al mismo tipo de lluvia.

La F.A.O (1967), refleja a 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.

3.2.1.5 Degradación química

Gonzáles citado por Lima (2003) indica que la degradación se ve favorecida por la lixiviación de bases a la aparición de sales. Las pérdidas de bases aumentan la acidez del suelo, un método para evaluar la degradación química es midiendo los cambios anuales en (%) de la saturación de bases.

3.2.2 Factores relacionados con la precipitación pluvial

3.2.2.1 Intensidad

Orsag (1998) señala que la intensidad de una lluvia es uno de los factores utilizados para determinar la erosividad de la lluvia, la cual expresa la cantidad de agua caída por unidad de superficie y por unidad de tiempo y sus valores se determinan con ayuda de un pluviógrafo.

Como se puede ver en el cuadro 1, nos muestra la clasificación de la intensidad

Cuadro 1. Intensidad

Intensidad mm h ⁻¹	Evaluación
< 2	Suave
2-20	Moderada
20-50	Fuerte
50-90	Muy fuerte
> 90	Torrencial

Fuente: Orsag (1998)

3.2.2.2 Acción erosiva de las gotas de lluvia

D'onofrio et al (1995), indican que las gotas de lluvia golpean un suelo desnudo descargando una energía cinética que desintegra los agregados del suelo en micro agregados y en pequeñas partículas aisladas. La energía cinética de una lluvia se encuentra expresada por la siguiente ecuación:

$$E_c = \frac{1}{2} m \times V^2 \quad (1)$$

Donde:

E_c = Energía cinética de la lluvia en kg /s

m = Masa de agua por segundo (kg. x s /m)

V = Velocidad terminal de las gotas m/s

Heno (1995), menciona que la acción erosiva de las gotas de lluvia es aquella producida por el golpeteo de las gotas de lluvia sobre el suelo desnudo. La fuerza y tamaño de las gotas de lluvia caídas ocasionan el desprendimiento de las partículas de los agregados del suelo y su dispersión. La erosión pluvial deja las partículas finas en suspensión para que luego el agua superficial la arrastre e inicie otras formas de erosión.

FAO (1967), señala que las gotas de agua de la lluvia, merced a la energía que poseen, baten la superficie del suelo desnudo y dispersan los agregados del suelo.

Hudson (1982), indica que la erosión del suelo es un trabajo mecánico en el sentido físico del termino, según el cual, trabajo equivale a un gasto de energía, y esta se gasta en todas las fases de la erosión: para romper los agregados del suelo, para dispersar las partículas en el aire, en la turbulencia del flujo superficial, en desprender y transportar partículas de tierra. La lluvia tiene 256 veces más energía cinética que la escorrentía como podemos observar en el cuadro 2:

Cuadro 2. Energía cinética de la lluvia y de la escorrentía

	Lluvia	Escorrentía
Masa	Supongamos que la masa de la lluvia que cae es R	Si se supone un 25% de escorrentía, la masa circulante es R/4
Velocidad	Supongamos una velocidad límite de 8 m/seg.	Supongamos una velocidad de flujo superficial igual a 1 m/seg.
Energía cinética	$\frac{1}{2} \times R \times (8)^2 = 32 R$	$\frac{1}{2} \times R/4 \times (1)^2 = R/8$

Fuente: (Hudson, 1982)

3.2.2.3 El salpique o salpicadura

Morgan (1997), Menciona que la salpicadura es el agente más importante para el desprendimiento. Como resultado del golpeteo de las gotas de lluvias sobre la superficie del suelo desnudo, las partículas del mismo pueden ser lanzadas por los aires a varios centímetros de distancia.

3.2.2.4 Erosión por escurrimiento o escorrentía

Henao (1995), indica que el escurrimiento se da cuando el agua de lluvia no alcanza a infiltrarse en el suelo debido a que la intensidad de la misma es mayor que la velocidad de infiltración o que el suelo esta saturado, entonces el agua sobrante fluye por la superficie del terreno arrastrando el suelo desprendido por la pendiente.

La erosión por escurrimiento o escorrentía es cuando el agua escurre por la pendiente, arrastra consigo el suelo desprendido; dependiendo de la pendiente, de la clase de suelo y del comportamiento del agua se presentan varios grados de erosión por escurrimiento (Hogares Juveniles Campesinos, 1994).

3.2.2.5 Erosividad de las lluvias

FAO (1992), señala que la erosividad, es la capacidad de la precipitación de causar erosión en un periodo determinado

Hudson (1982), menciona que la erosividad es la capacidad potencial de la lluvia para provocar la erosión. Esta en función de las características físicas de la lluvia.

3.2.3 Topografía

Allison citado por Miranda (1995), indica que la topografía esta relacionada con el drenaje de los suelos, debido a las escasas precipitaciones de las regiones áridas, las corrientes de drenaje superficial están poco desarrolladas, existiendo depresiones sin drenaje.

3.2.3.1 Fisiografía

3.2.3.1.1 Pendiente

Hudson citado por la U.M.S.S (1990), señala que la cantidad de erosión del suelo es proporcional a la pendiente, de igual forma la escorrentía será mayor y avanzara con rapidez según el grado de la pendiente.

Foth (1971), indica que a mayor inclinación de la pendiente más rápidamente correrá el agua sobre el suelo. La cantidad de suelo transportado por el agua que corre con rapidez es también mucho mayor que el transportado por el agua que se mueve

lentamente. A este respecto debe recordarse que el suelo no puede ser movido mientras sus partículas no han sido separadas.

3.2.3.1.2 Grado y longitud de la pendiente como factor de erosión

Worthen citado por García (1992), señala que cuanto mayor es la pendiente, mas rápido es el escurrimiento. El poder erosionante del agua es en cierto modo, proporcional al cuadrado de la velocidad. En otras palabras: si se duplica la velocidad, el poder erosionante es cuatro veces mayor. Obsérvese en el cuadro 3, que una pendiente de 3 % se pierden 1,7 t/ha, mientras que con una pendiente de 18 %, la pérdida es de 42 t/ha de suelo.

Cuadro 3. Influencia de la pendiente sobre la cantidad de suelo perdido

Pendiente	Pérdida de suelo t./ha
3	1,75
8	5,16
13	13,45
18	42,06

Fuente: Worthen, 1954

Torres citado por García (1992), menciona que la pendiente afecta al escurrimiento en la forma siguiente:

- Pendiente 0 a 5 %. Agua estancada o escurrimiento muy lento, la mayor parte de agua se percola o se evapora.
- Pendiente 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 escurre en la superficie, solo una pequeña parte se infiltra, erosión media.
- Pendiente de 20 a 35 %. Escurrimiento muy rápido, casi toda el agua escurre, erosión severa.
- Pendiente mayor a 35 %. Se mueve tan rápido como se precipita al suelo, erosión muy severa.

3.2.4 Factores relacionados con la vegetación

3.2.4.1 Pendientes completamente cubiertas de vegetación

Kirkby (1994), señala que las escorrentías y erosión procedentes de buenos pastizales o de bosques son pequeñas, a menudo representan menos del 5 y del 1%, de las pérdidas en un suelo desnudo.

3.2.4.2 Pendientes parcialmente cubiertas por vegetación

Kirkby (1994), indica que las escorrentías y la erosión aumentan rápidamente sobre suelos con menos del 70 % de cubierta vegetal.

3.2.4.3 Ausencia de vegetación

Kirkby (1994), menciona que las pendientes rara vez están totalmente desprovistas de vegetación a menos que la tierra sea de labranza excepto en las regiones áridas; la tierra desnuda y arable es la más susceptible a la erosión hídrica y se pueden perder grandes cantidades de suelo con una tormenta o durante una estación lluviosa.

3.2.4.4 La cobertura vegetal

Hudson citado por Cárdenas (1990), menciona que la densidad de plantas, los estadios de crecimiento de cada cultivo y el nivel de fertilidad del suelo influyen en la escorrentía y la erosión del suelo.

FAO citado por Cárdenas (1990), 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.

Urbano (1997), indica que la eficacia de una cubierta vegetal para reducir la erosión por impacto de las gotas de lluvia depende, sobre todo, de la altura y continuidad de la vegetación, y de la densidad de cobertura del suelo.

Fownier, Elwell y Stocking citado por Lima (2003), generalmente se acepta que la vegetación debería cubrir por lo menos el 70 % de la superficie del terreno para dar una protección adecuada contra la erosión.

Morgan (1997), indica que la cobertura vegetal actúa como una capa protectora o amortiguadora entre la atmósfera y el suelo.

3.2.4.5 Características e importancia de la cobertura vegetal

Benefius citado por Tito (1996), señala que probó que la cubierta vegetal juega un papel regulador fundamental dentro de un sistema hidráulico, en la pérdida de suelo y la consiguiente disminución del poder de retención de agua pluvial.

Salm citado por Miranda (1995), indica que las plantas retienen el material transportado por el viento y el agua, presentando los lugares sin vegetación una fuerte erosión hídrica y eólica como consecuencia de los fuertes vientos del altiplano.

Lima (2003), menciona que las plantas gracias a su transpiración secan el suelo y por lo tanto, este puede volver a almacenar mayores volúmenes de agua de lluvia y evitar la formación de volúmenes considerables de agua sobrantes.

Hudson (1989), señala que la finalidad de la vegetación es doble. En primer lugar ofrece al suelo una protección física frente a la escorrentía. Pero también reduce la velocidad del agua al aumentar la resistencia hidráulica del canal y por ello disminuye la capacidad erosiva de aquella.

3.2.4.6 Protección y aumento de fertilidad del suelo

Según Torrico (1997), indica que los beneficios que brindan los árboles y arbustos al suelo son muchos. Los árboles fijan el suelo con sus raíces y disminuyen con su follaje la velocidad de caída de las gotas de lluvia, protegiéndolo de esta manera contra la erosión hídrica.

Orsag citado por Miranda (1995), menciona que la cobertura vegetal juega también el papel de protección del suelo, evita el impacto de las gotas, aminora el escurrimiento.

MDSMA (1996), señala que la cobertura vegetal es considerada como un medio de protección contra la erosión de suelos, estableciéndose las siguientes definiciones:

- Tipos de cobertura vegetal, clasificadas en herbáceas, arbustivas y arbóreas asociaciones de estas.
- Densidad de cobertura vegetal, expresada en porcentaje de acuerdo a la siguiente escala: A=0-25%, B=26-50%, C=51-75%, y D=76-100%, cuyas

representaciones literales están incorporadas en la simbología de las categorías de erosión correspondientes.

Morales (1979), indica que cualesquiera que sea el tipo de vegetación natural para el suelo, ejerce una acción protectora, el follaje de las plantas intercepta la caída de la lluvia directamente al suelo, amortiguando el golpe de la lluvia, los tallos frenan la velocidad de agua y las raíces evitan el deslizamiento de la capa arable.

Stallings (1962), menciona que la acción principal de la cubierta vegetal, fuera de los canales evita la erosión del agua recogiendo las gotas de lluvia antes de que ellas golpeen el suelo desnudo.

FAO (1967), indica que los montes son muy eficaces para impedir la erosión, debido a que la cubierta de copas de los árboles intercepta la lluvia y reduce su energía, haciendo que las gotas de agua de la lluvia las absorbe la hojarasca, de la que pasan a la superficie del suelo muy porosa y el agua de escurrimiento desaparece por lo general sin causar daño alguno.

3.2.4.7 El tipo de cubierta vegetal es importante

Stallings (1962), menciona que la efectividad de la cubierta vegetal para prevenir la erosión depende de la cantidad presente y de cuán bien ella este distribuida sobre la superficie del suelo.

3.2.4.8 Importancia de las plantas que crecen juntas

La efectividad de cualquier sistema de cosechas en la reducción de las pérdidas de suelo y agua, depende en gran medida, de la proporción de la vegetación espesa que se use, así como de lo largo del tiempo y de la estación del año en que las plantas ocupan el terreno, por ejemplo: las plantas que suministran una cubierta

protectora durante los meses en que las lluvias producen erosión, son especialmente valiosas para la conservación del suelo y agua (Stallings, 1962).

3.2.4.9 El algarrobo (*Prosopis alba Grisebach*)

Torrico (1997), indica que su ecología y distribución frecuentemente se encuentra en fondos de valle, en riberas de ríos estacionales. Tienen preferencia por suelos aluviales, arenosos y gravosos; soporta cierto grado de salinidad. Su rango de distribución altitudinal reportado en Bolivia va de 500 a 2.700 m.s.n.m. Al mismo tiempo menciona que la protección y aumento de fertilidad del suelo: aportando materia orgánica y mediante la fijación de nitrógeno en simbiosis con microorganismos, permite el desarrollo de gramíneas en la parte inferior y da sombra al ganado; existen otras especies como la P. Alba, P. Pallida, P. Nigra, P. Flexuosa.

3.2.4.10 El molle (*Schinus molle L.*)

Nina (1999), indica que el molle se distribuye en el área de origen de 2.000 a 3.000 m.s.n.m en los Andes centrales. También se encuentra entre 1.500 a 3.500 m.s.n.m. crece generalmente en riberas de ríos o quebradas relativamente húmedas. También crece en laderas secas y poco profundas, lugares áridos y semiáridos. Esta presente en suelos arcillosos, arenosos, sueltos, livianos, alcalinos, salinos y neutros, incluyendo pedregosos, secos y hasta aquellos de poca profundidad.

3.2.4.11 La tuna (*Opuntia ficus indica*)

CIDERI (1992), indica que la tuna puede ser utilizada en forma integral por su rusticidad y adaptación a los valles, altiplano y los llanos, de la siguiente manera:

- Por el rápido desarrollo de las raíces permite la formación de una malla, que no solo previene y controla la erosión, sino que favorece la acumulación y formación de suelos.

3.2.4.12 La cañahueca (*Arundo donax*)

Rodríguez (2000), indica que la cañahueca se reproduce muy rápido y de forma compactada en suelos pesados y livianos, protegiendo las riberas de los ríos, acequias, quebradas y caminos; en los valles se aprecia en los bordes de los cultivos contra las heladas y como rompe vientos.

3.2.4.13 El atriplex

Rodríguez (2000), señala que en Bolivia existen aproximadamente diez especies del genero atriplex. Es una especie halofita que se puede utilizar para desalinizar suelos.

Además de crecer en suelos salinos, crece en suelos pobres, áridos y erosionados. Estas halofitas de múltiple utilidad, también se consideran hábiles en la retención del proceso desertificador.

3.2.4.14 Efecto de la cobertura sobre la materia orgánica

Stallings (1962), indica que sin la protección de la cubierta vegetal, resulta imposible evitar la pérdida de la materia orgánica.

IV MATERIALES Y MÉTODOS

4.1 Localización

El presente trabajo de investigación se realizó en las comunidades de Airoirama y Malavi Sivingal del Cantón Caracato, Segunda sección Municipal de la Provincia Loayza del Departamento de La Paz, se encuentran aproximadamente a 125 km. de la ciudad de La Paz, a una altitud de 2.500 m.s.n.m, como se ve en la gráfica 1.

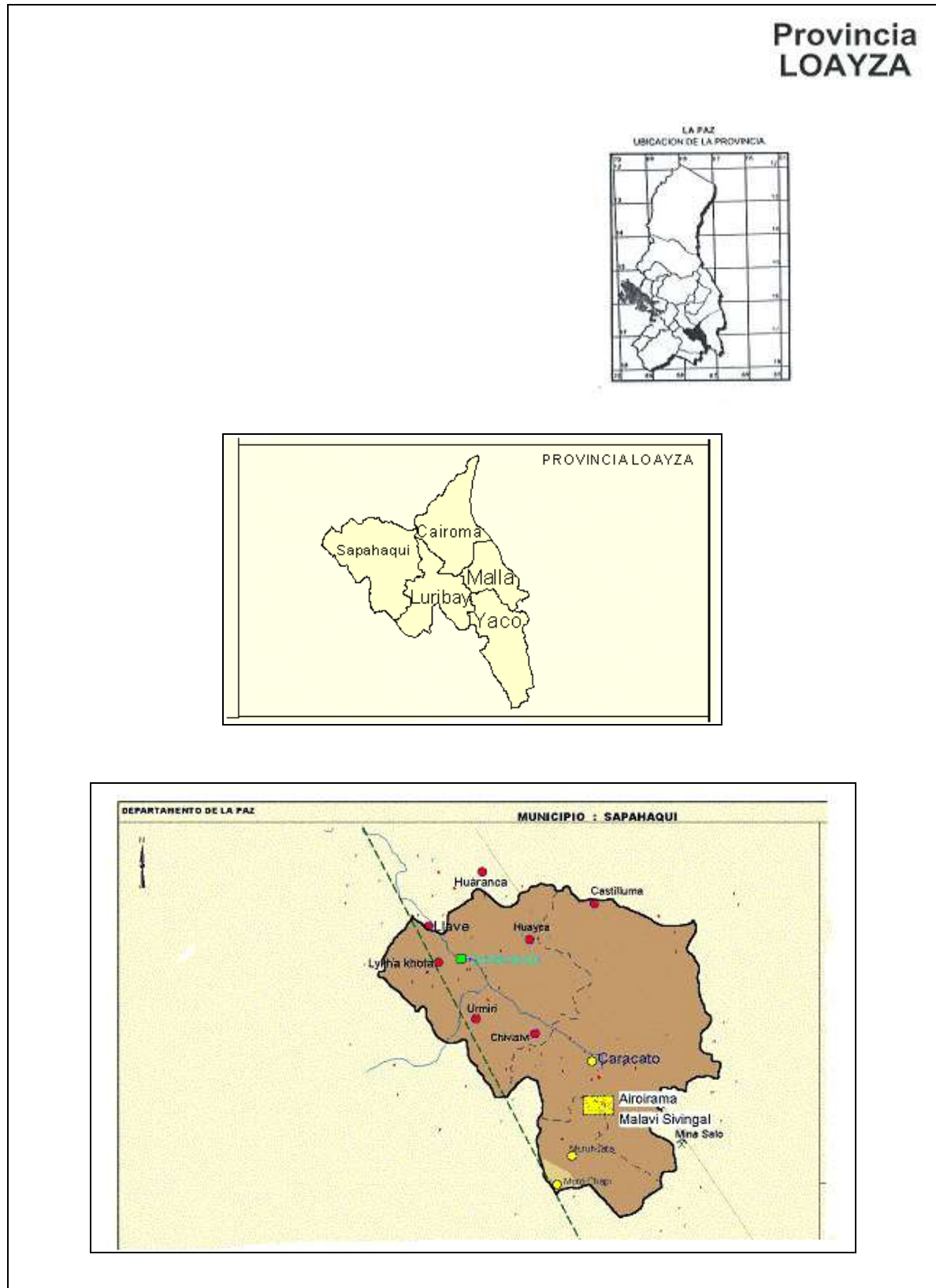
4.1.1 Ubicación geográfica

Las comunidades de Airoirama y Malavi Sivingal geográficamente se encuentran ubicadas a 17° 47' de latitud Sur y de 67° 47' de longitud Oeste (Chambi, 2000), ver Anexo 1.

4.1.2 Clima

4.1.2.1 Zona de Vida

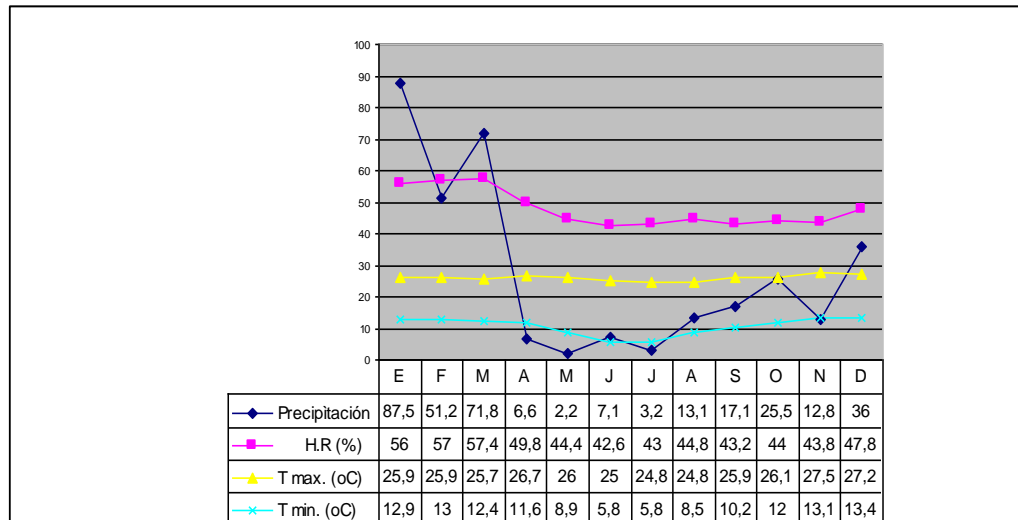
Según la clasificación de Holdridge esta zona corresponde a la zona de vida: Bosque seco montano bajo subtropical el cual ocupa numerosas áreas aisladas en el sector central del territorio sobre todo valles profundos de la vertiente oriental de la cordillera donde se encuentran poblaciones como Inquisivi, Luribay y otras (Montes de Oca, 1989).



Gráfica 1. Ubicación del área de estudio

4.1.2.2 Precipitación y Temperatura

La gráfica 2 se muestra los cuadros climáticos de la zona:



Fuente SENAMHI 2004

Gráfica 2. Datos promedio gestión 1997 – 2001 de precipitación, humedad relativa y temperatura de las estaciones meteorológicas de Luribay y Caracato

Para la zona de estudio se tomo en cuenta la información climática de las estaciones meteorológicas de Luribay ubicada a 2.480 m.s.n.m y Caracato ubicada a 2.650 m.s.n.m, debido a que no se tienen datos meteorológicos del área de estudio.

Según datos del SENAMHI (2004), el promedio de los últimos cinco años (1997 al 2001), indican que los meses más lluviosos son enero, febrero y marzo con una precipitación de 87,5; 51,2 y 71,8 mm respectivamente y los restantes meses como abril, mayo, junio y julio presentan las mínimas precipitaciones con 7,1 y 2,2 mm, y los meses de agosto, septiembre, octubre, noviembre y diciembre presentan precipitaciones de 12,8 y 36 mm, con una media de 334.1 mm/año.

Las temperaturas máximas corresponden a los meses de noviembre y diciembre con 27,5 y 27,2 °C respectivamente, y las temperaturas mínimas entre los meses de

junio y julio con 5,8 °C, según los promedios del último quinquenio, este sector muestra una humedad relativa media de 53,6 % en verano y 43,47 % en invierno.

4.1.3 Fisiografía

La zona en estudio presenta como unidades fisiográficas: serranías altas, con cimas semiagudas y pendientes abruptas. El paisaje microregional presenta una topografía de un 90% accidentada, típica de los valles cerrados y encajonados. Las serranías que franquean el valle pueden considerarse como desprendimientos de la gran Cordillera de Tres Cruces (Quimsa Cruz), pues de ella se abren estos, como así los ríos que corren por el fondo de los mismos.

El valle esta flanqueado en su parte occidental por las serranías de Tankha Tankhani, por el flanco oriental la serranía de Hayna, y en el fondo se encuentran las terrazas o planicies en ambos márgenes de los ríos, alcanzando anchuras que varían entre los 100 y 500 metros. La pendiente de estas terrazas varía según los lugares, pero en general es relativamente apreciable, hay lugares en que la misma no supera el 2% pero en otros alcanza hasta el 30%. La pendiente de las serranías adyacentes a las terrazas es muy pronunciada, va del 40 al 70%.

Como se puede observar en la Fotografía 1, nos muestra la fisiografía del lugar de estudio.



Fotografía 1: Vista panorámica del paisaje de la zona de Sapahaqui

4.1.4 Suelo

En el cuadro 4 Chambi (2000), indica que el complejo de tierras de los Valles Interandinos de la Provincia Loayza pertenece a la siguiente clasificación:

CUADRO 4. Clasificación de suelos de la provincia Loayza

Unidades fisiográficas	Clasificación Taxonómica	Clases de capacidad de uso
Escarpado Ladera Pie de monte	<ul style="list-style-type: none">• ORTHENTS• OCHREPTS• FLUVENTS	<ul style="list-style-type: none">• VII – VIII s,t,e• IV – VI s,e• II – III s

Fuente: GEOBOL citado por Chambi (2000)

GEOBOL citado por Chambi (2000), menciona que son suelos generalmente poco profundos a profundos, en pendientes escarpadas a muy escarpadas, de color pardo grisáceos, pardo oscuros, pardo amarillentos, pardo rojizos, de textura franco arenosos a franco arcillosos con grava y piedras, nada a poco desarrollados, fertilidad natural baja a alta, de pH neutros a suavemente alcalinos, y cierto predominio de afloramientos rocosos.

4.1.5 Ecología

La zona en estudio ecológicamente esta situado en la Región templada de tierras de valle, se encuentra en las vertientes orientales de los Andes en el sector central del país. En esta región se encuentran formaciones húmedas y secas. Se deben considerar como característicos los siguientes factores: exceso de humedad en parte del área y aridez en otros sectores, topografía abrupta y relieve pronunciado. A causa de las fuertes precipitaciones la fuerza del agua tiene un gran poder erosivo tanto profundizante como lateral. Los suelos son generalmente inestables y los procesos de remoción en masa, derrumbes y torrentes de barro, son muy fuertes.

Cuando estos suelos son despojados de su vegetación natural y se los cultiva o sobrepastorea, los procesos erosivos se aceleran dejando al descubierto la roca madre. (Montes de Oca 1989).

4.1.6 Hidrología

GEOBOL (1968), describe que el eje principal de drenaje es el Río La Paz y sus afluentes principales río Luribay, Caracato, Araca y Palca.

4.1.7 Vegetación

Estas zonas cuentan con la siguiente vegetación como se ve en el cuadro 5:

Cuadro 5. Vegetación frecuente

Nombre científico	Familia	Nombre común
<i>Schinus molle</i>	Anacardiaceae	Molle
<i>Carica lanceolata</i>	Caricaceae	Orko caralahua
<i>Prosopis juliflora</i>	Mimosaceae	Algarrobo
<i>Fagara coco</i>	Rutaceae	Chirimolle
<i>Coulteria tinctoria</i>	Caesalpinaceae	Tara
<i>Carica quercifolia</i>	Caricaceae	Gargatea
<i>Acacia micracantha</i>	Mimosaceae	Cupechico
<i>Dodonea viscosa</i>	Sapindaceae	Chacatea

Fuente: Montes de Oca (1989)

Como se puede observar en el cuadro anterior la vegetación consiste en especies características de un valle interandino como el molle, chacotea, etc., y especies espinosas como el algarrobo. Como se puede observar el tipo de vegetación en el Anexo 2.

4.1.8 Uso actual de la tierra

4.1.8.1 Agricultura

La zona se caracteriza por ser un lugar de producción tanto hortícola como frutícola, el manejo que realizan es asociado e intensivo, con relación a los árboles y arbustos estos no toman interés en su manejo o implantación.

El cuadro 6 nos muestra el tipo de agricultura que se practica en la zona:

Cuadro 6. Agricultura

Hortalizas	Frutales	Ornamentales
Repollo (<i>Brassica oleracea</i> var. <i>capitata</i>)	Durazno (<i>Prunus persica</i>)	Rosas (<i>Rosa gallica</i>)
Lechuga (<i>Lactuca sativa</i> L.)	Pera (<i>Pyrus communis</i> L.)	Claveles (<i>Dianthus cariofilus</i> L.)
Tomate (<i>Lycopersicon esculentum</i>)	Higo (<i>Ficus carica</i> L.)	Margaritas (<i>Leucanthemum vulgare</i>)
Habas (<i>Vicia faba</i> L.)	Manzana (<i>Malus domestica</i> Borkh)	Buganvilla
Apio (<i>Apium graveolens</i> L.)	Membrillo (<i>Cydonia oblonga</i> Miller)	
Perejil (<i>Petroselinum sativum</i>)	Granadilla (<i>Passiflora ligularis</i>)	
Coliflor (<i>Brassica oleracea</i> L. Var. <i>boteytis</i>)	Peramota (<i>Pyrus uvana</i>)	
Brócoli (<i>Brassica oleracea</i>)	Ciruelo (<i>Prunus salicina</i> Lindl)	
Maíz (<i>Zea mays</i> L.)	Pacay (<i>Inga edulis</i>)	
Huacataya (<i>Tagetes graveolens</i>)	Limón (<i>Citrus limon</i> (L.) Burm)	
Quillquiña (<i>Porophyllum ruderale</i>)	Uva (<i>Vitis vinifera</i> L.)	
Ulupica (<i>Capsicum eximium</i> Hunz)	Tuna (<i>Opuntia ficus indica</i>)	
Acelga (<i>Beta vulgaris</i>)	Lujma	
Morrón (<i>Capsicum annuum</i> L.)		

Fuente: Elaboración propia

4.1.8.2 Ganadería

El ganado mayor y menor en la zona es muy reducido debido a que en el lugar existe el minifundio de tierras por lo que no existen áreas para cultivo de pastos o alfalfa, y lugares donde se pueda realizar pastoreo, algunos animales sólo les sirve como

tracción animal (yunta) o como alimento. La zona cuenta con los siguientes animales: ovinos, vacunos como se observa en la Fotografía 2, porcinos, cuy, pollos y cabras.



Fotografía 2: Ganado vacuno

4.2 Materiales

4.2.1 Equipos de medición de la esorrentía y erosión

Para la instalación de las parcelas de escurrimiento se utilizaron los siguientes materiales:

a) Láminas divisorias de las parcelas de esorrentía, para el establecimiento de los límites alrededor de cada parcela y definir el área, las mismas fueron construidas con calamina plana galvanizada de 35 cm de ancho, que se introdujeron 15 cm verticalmente al suelo, sobresaliendo 20 cm.

b) Colectores basales (canaletas). Son colectores utilizados para captar el agua de escurrimiento y la erosión de cada parcela, construidos de calamina galvanizada e instalados en la cota inferior de la parcela. La parte central del colector posee un tubo el cual conecta a las cubetas receptoras de sedimentación.

c) Cubetas de sedimentación. Fueron 3 de 64,34 lt de capacidad total los cuales estaban unidos por tubos PVC, esto para que el volumen de agua escurrida no rebase la capacidad de las cubetas, este trabajo se realizó hasta el final de la época de lluvias.

4.2.2. Equipo para medir las precipitaciones

Para el registro de las precipitaciones diarias se instalo en la zona de estudio un pluviómetro tipo ingles.

4.2.3 Equipo de laboratorio

Compuesto de recipientes de vidrio (vasos precipitados), horno (mufla), balanza de precisión de 450 g, espátulas y etiquetas para la determinación de la cantidad de suelo erosionado. Exametafosfato de sodio, agua destilada, hidrómetro de Boyuckes, probeta de 1000 ml, termómetro, mezclador automático, mezclador manual, tamiz de 2 mm, guardapolvo, cuaderno de registros, para determinar el tipo de material que es arrastrado por escorrentía. Los análisis físico – químicos fueron realizados en el laboratorio del Instituto Boliviano de Ciencia y Tecnología Nuclear (IBTEN).

4.2.4 Material de escritorio

En escritorio se utilizó los siguientes materiales: computadora y otros materiales como: papel Bond, Diskets, calculadora, bolígrafos y marcadores.

4.2.5 Materiales varios

Se utilizaron además de Wincha métrica, flexometro, Carta geográfica del área de estudio (IGM) a escala 1:50.000, GPS (Global Posición Sistem) marca Garmin como se puede ver en la Fotografía 3, un recipiente cilíndrico graduado para medir escorrentía, regla, planillas de datos de precipitación y escorrentía, cuchilla y picota

de geólogo, pala pequeña, limón, lupa, bolsas nylon, etiquetas de identificación y cámara fotográfica.



Fotografía 3: Uso de GPS

4.3 Metodología

4.3.1 Pre campo

Para evaluar los parámetros establecidos y objetivos planteados se procedió previamente a la obtención de información del área de estudio según fuentes bibliográficas a través de la elaboración del perfil de proyecto de tesis, planificación de actividades de campo y además una inspección insitu y contacto con autoridades comunales.

4.3.2 Campo

4.3.2.1 Elección del sitio

Para cumplir con los objetivos trazados en el presente trabajo de investigación primeramente se procedió a elegir el sitio de estudio.

4.3.2.2 Caracterización de las unidades de suelo

En la zona de estudio, se encontró cuatro unidades de suelo, donde la unidad (PM) pie de monte se dividió en dos partes: parte alta y parte media de pie de monte, en las cuales se realizaron apertura de calicatas para la descripción morfológica de la misma; dichas calicatas se cavaron de 1x1 m de ancho y 1,20 m de profundidad, evaluándose y examinando el perfil superficial y subsuelo, describiendo los aspectos del lugar como: horizonte, profundidad y otros, como se puede ver en la Fotografía 4 según la guía de descripción de perfiles de la FAO 1977.

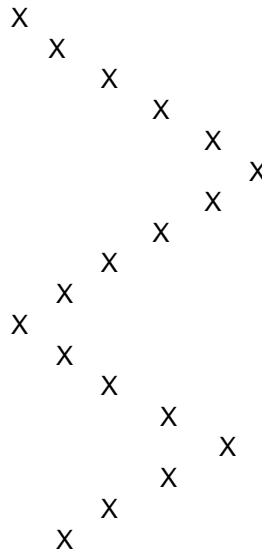


Fotografía 4. Apertura y descripción de calicatas

4.3.2.3 Muestreo de suelo

Se realizó según metodología de Chilon (1996), en forma de zig-zag a lo largo de la parcela cada cierto trecho como se puede observar en el Cuadro 7, posteriormente se junto, mezclo y cuarteo, para tener una muestra compuesta, luego se embolsó y etiqueto para remitir al laboratorio del IBTEN donde se determinó las propiedades físico, químicas, como se puede ver en el Anexo 3.

Cuadro 7. Posición de la toma de muestras de suelo



Fuente: Chilon (1996)

4.3.2.4 Metodología experimental

Se utilizaron parcelas de escorrentía recomendadas por el USLE citado por Orsag (1998) y FAO (1967).

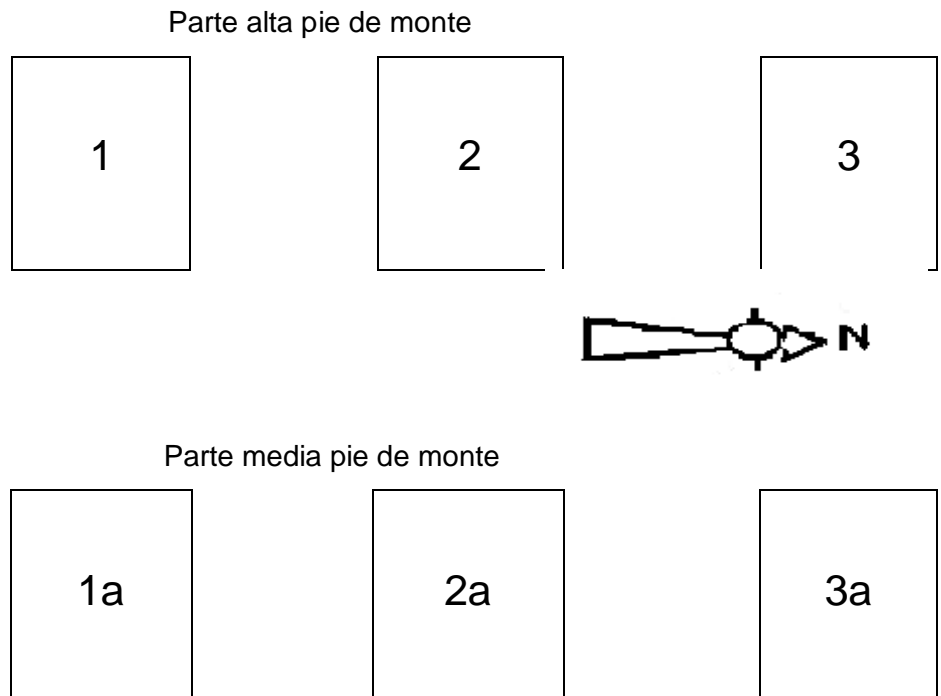
Por la topografía existente en la zona de estudio, en las comunidades de Airoirama y Malavi Sivingal fueron divididas en dos partes: Parte alta (pie de monte) o ápex y parte media (pie de monte) o parte central.

En la parte alta (pie de monte) se eligió tres parcelas, de los cuales una parcela tenía la asociación de molle, tuna, atriplex rastrera, la otra con atriplex erecta, atriplex rastrera y tuna por último otra con algarrobo, tuna, atriplex rastrera. En la parte media (pie de monte), se escogió tres lugares con las mismas características al anterior, como podemos ver en el gráfico 3 y Anexos 4 y 5.

La superficie de cada parcela de escorrentía, fue de 33 m²; presentando 11 m de largo (en sentido de la pendiente) y 3 m de ancho, resultando la superficie total del ensayo de 99 m², en ambas partes.

Gráfica 3.

CROQUIS DE LAS PARCELAS DE ESCORRENTIA



Referencias:

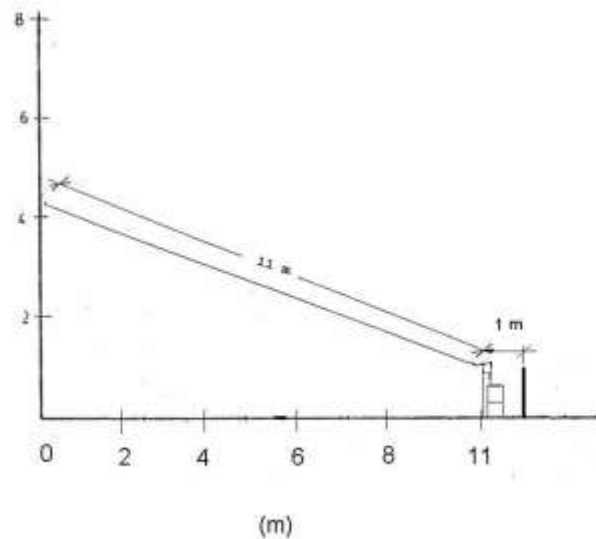
1 y 1a – Asociación de: molle-atriplex rastrera-tuna-cañahueca

2 y 2a - Asociación de: atriplex erecto-atriplex rastrera-tuna

3 y 3a - Asociación de: algarrobo-atriplex rastrera-tuna-senecio

4.3.2.5 Instalación de las parcelas de escurrimiento

Concluida la elección de parcelas con cobertura vegetal en ambas partes, como se observa la Fotografía 10, se procedió a instalar de la siguiente manera: se excavó calicatas de 1x1 m de ancho y 1,20 m de profundidad en la parte mas baja de cada parcela, posteriormente se aislaron con planchas de calamina galvanizada a los costados, colocando con tierra a su contorno para evitar que el agua de escurrimiento de sus costados ingrese a la parcela en estudio, luego se colocaron colectores basales con el cuidado de que estén al mismo nivel ambos extremos,. Por último se colocaron cubetas colectoras de escurrimiento y de material de arrastre. De acuerdo a recomendaciones del USLE citado por Orsag (1998) y FAO (1967), como se ve en la gráfica 4, Anexos 5, 6 y 7.



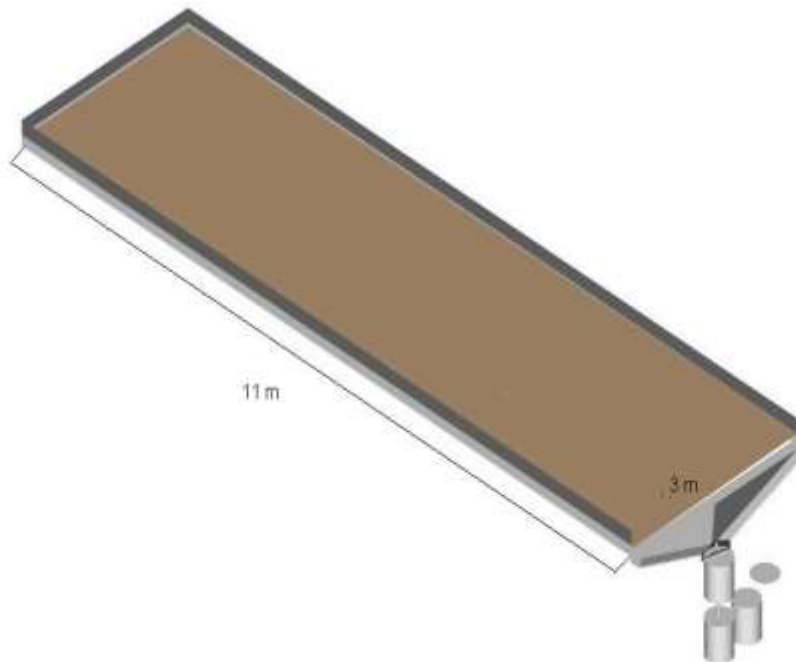
Gráfica 4. Parcela de escorrentía corte transversal

4.3.2.6 Mecanismo del sistema de alcúotas

La escorrentía de cada parcela, se concentro en el colector basal (canaleta), de donde pasa a la primera cubeta el cual retiene la mayor parte del suelo lavado, al rebasar esta cubeta, el agua escurre a través de un tubo a otra cubeta que se

encuentra debajo de esta, por último al rebasar esta cubeta por intermedio de un tubo el agua escurre a la ultima cubeta.

Para que el funcionamiento del sistema sea optimo, se instaló las primeras cubetas a nivel y la otra cubeta a desnivel. Este procedimiento se repite después de cada registro de erosión y escorrentía, como se observa en la gráfica 5.



Gráfica 5. Vista isométrica de la parcela de escurrimiento

4.3.2.7 Metodología para la cuantificación del escurrimiento y recolección del material de arrastre

Después de cada precipitación, se determinó de cada cubeta el volumen de agua escurrida mediante el uso de un recipiente cilíndrico graduado y con el uso de una regla se media la altura del líquido. Posteriormente se recogieron los sedimentos depositados en las cubetas recolectoras, para esto se esperaba a que sedimentara las partículas, luego se procedía a vaciar en bolsas nylon las cuales eran etiquetadas para su posterior traslado a la ciudad de La Paz, llevando a laboratorio para su posterior secado como se observa en los Anexos 7 y 8.

4.3.2.8 Registro de la precipitación

La medición de la precipitación y registro de las intensidades se realizó en cada evento pluviométrico, hasta el final de la época de lluvias. El pluviómetro se instaló en la comunidad de Malavi Sivingal a una altura de 1,5 m del nivel del suelo, según Reyes et. al. (1988), como se puede observar en la Fotografía 5 y Anexo 8.



Fotografía 5. Instalación del pluviómetro

4.3.2.9 Registro de la cobertura vegetal

Para la estimación objetiva de la cobertura vegetal, se utilizó la técnica de unidades muestrales, contando el número de plantas por metro cuadrado y sacando al final el promedio. Para la toma de datos de diámetro de cobertura vegetal se proyectó en tres sentidos, esto para especies arbóreas y algunas arbustivas; para el cálculo de la altura se utilizó métodos dasonómicos para especies arbóreas y las plantas arbustivas se midieron desde la base del tallo hasta el ápice de la hoja más larga y en otros casos hasta el conjunto del follaje, según Goitia (2003), como se puede observar en el Anexo 9.

4.3.3 Laboratorio

En laboratorio se procedió a vaciar las muestras húmedas de las bolsas a los vasos precipitados, para luego hacerlas secar durante 48 horas en la mufla a una temperatura de 100 °C y luego pesarlas en una balanza de precisión para obtener datos de cantidad de suelo erosionado, con estos datos se calculó el peso total de suelo erosionado por parcela, posteriormente estos valores se convirtieron a t/ha/año, como se puede ver en los Anexos 9 y 10.

El total del suelo erosionado durante el estudio, corresponde a la sumatoria de cada evento pluviométrico. También se determinó en laboratorio el tipo de material que fue arrastrado por el escurrimiento, mediante el método de Boyuckes.

4.3.4 Procedimiento experimental

Para la realización de la parte experimental, se utilizó parámetros estadísticos adecuados para este tipo de investigación, como la correlación lineal y regresión lineal múltiple, utilizando las ecuaciones siguientes:

Según la relación matemática para correlación lineal de Spiegel (1970), se tiene la siguiente fórmula:

$$r^2 = \frac{\langle \sum(x - \bar{x}) (y - \bar{y}) \rangle^2}{\langle \sum (x - \bar{x})^2 \sum (y - \bar{y})^2 \rangle}$$

Donde:

x = Observación cualquiera de la variable independiente

\bar{x} = Es la media muestral

y = Es una observación cualquiera de la variable dependiente

\bar{y} = Media muestral

Por otra parte se utilizó estadística descriptiva como ser la media y el desvío estándar.

Según Ibañez (2000), se utilizó la regresión lineal múltiple adecuado a este trabajo de investigación con la siguiente formula:

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_3 x_3 + \varepsilon$$

Donde:

y = Variable dependiente (perdida de suelo)

β = Coeficiente de regresión lineal múltiple

x_1 = Variable independiente (precipitación)

x_2 = Variable independiente (escurrimiento)

x_3 = Variable independiente (intensidad)

ε = Error experimental

Según resultados podemos indicar que por los datos obtenidos no existe colinaridad y eso hace que cada variable sea independiente.

Para la determinación de la pérdida de suelo y escurrimiento, se utilizo análisis factorial, donde se calculó el Análisis de varianza, prueba de Duncan, debido a que este se adecua a estudios agropecuarios y para la evaluación de estos parámetros se utilizo el siguiente modelo:

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha \beta)_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

Y_{ijk} = k-esima observación correspondiente al i-esimo estrato y j-esima asociación vegetal

μ = Media Gral

α_i = Efecto del i-esimo estrato

β_j = Efecto de la j-esima asociación

$(\alpha \beta)_{ij}$ = Efecto de la interacción del i-esimo estrato con la j-esima asociación vegetal

ε_{ijk} = Residual o error experimental

4.3.5 Variables de respuesta

Para el presente trabajo de investigación se utilizó las siguientes variables de respuesta:

Clima

- Precipitación e Intensidad

Suelo

- Características fisicoquímicas del suelo
- Pendiente
- Escurrimiento
- Pérdida de suelo en t/ha/año

Vegetación

- Porcentaje de cobertura vegetal
- Diámetro y altura de la planta

V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 Suelo y vegetación

5.1.1 Caracterización de las unidades de suelo

En función al mapa geomorfológico de la zona de estudio, se encontró la presencia de varias unidades diferentes que fueron:

- * Planicies (P)
- * Laderas moderadamente empinadas (LME)
- * Laderas fuertemente empinadas (LFE)
- * Pie de monte y otros (PM)

El presente estudio, se centro en la unidad geomorfológica de pie de monte, la misma en su parte alta y media, como se observa en la Fotografía 6. De acuerdo al siguiente orden y contenido, se interpreta las características generales de las unidades de suelos encontradas, la descripción de perfiles y el análisis físico - químico.



Fotografía 6. Unidades geomorfológicas

5.1.1.1 Parte alta pie de monte (PAPM)

5.1.1.1.1 Características generales

Esta unidad, se ha desarrollado a partir de un banco de pizarras y cuarcitas. Siendo estos suelos, depósitos coluviales provenientes de simas y serranías altas del lugar, debido a los deslizamientos y mazamoras frecuentes que se dan en la zona.

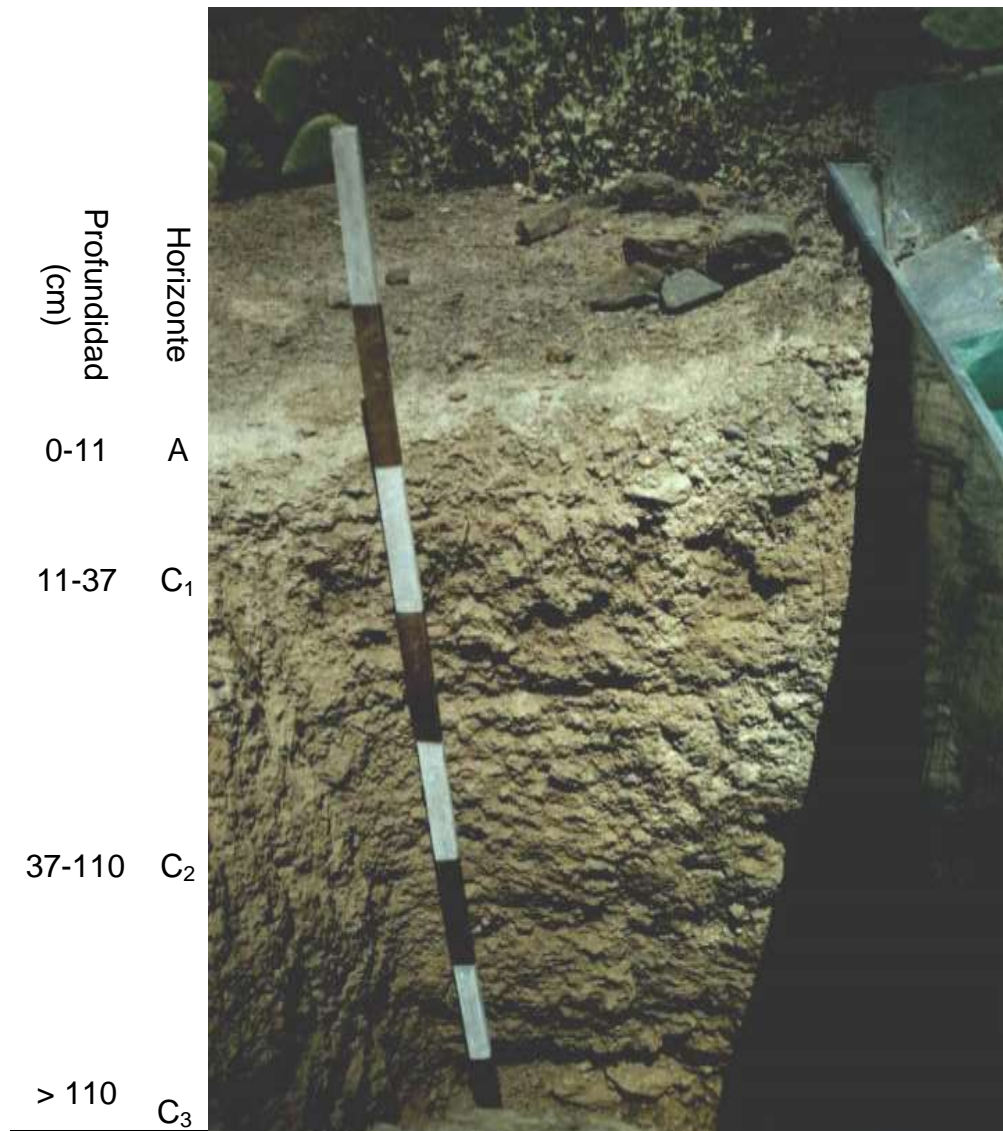
La pendiente esta comprendida entre 15 – 18 %; siendo moderadamente escarpada. La erosión predominante es la hídrica que por la pendiente del terreno, constantemente va arrastrando material fino hacia las partes bajas. Las formas de erosión existentes son la laminar, surcos y cárcavas, que llegan hasta 1 metro de ancho y 60 cm. de profundidad (socavamiento). Los suelos de esta unidad son algo excesivamente drenados, siendo moderadamente pedregosos (piedras entre 15 – 20 cm. de diámetro) y con mucha grava.

En el momento de la descripción del perfil, los suelos se encontraban con vegetación y uso de la tierra: terreno sin intervención de labranza. La vegetación natural establecida en el terreno esta compuesta por: tuna (*Opuntia ficus indica*), atriplex erecto (*Atriplex semibaccata R. Brown*), atriplex rastrero (*Atriplex muelleri Benth*) y otras parecidas a matico, fabacea, ñuñumaya. Existió un repoblamiento de tunas para fines de cosecha de su fruto comestible.

5.1.1.1.2 Descripción del perfil

La secuencia de horizontes presentes en esta unidad, es como sigue: A; C₁; C₂; C₃.
A continuación se detalla las características por estratos:

Horiz	Prof. (cm)	Descripción
A	0 – 11	Presenta un color pardo grisáceo oscuro (2,5 Y 4/2) en húmedo y gris parduzco (10 YR 6/2) en seco, de textura franco arcilloso, contenido de grava entre 30 a 40%; estructura en bloques subangulares, mediana a gruesa, moderada; adherente, plástico, friable en húmedo, muy duro en seco; muchos poros intersticiales muy finos y frecuentes finos; raíces: pocas muy finas, comunes finas y medianas; límite neto, ondulado.
C ₁	11 – 37	Presenta un color pardo grisáceo oscuro (2.5 Y 4/2) en húmedo y gris parduzco claro (2.5 Y 6/2) en seco, de textura arcilloso, contenido de grava cerca de 25%; estructura en bloques subangulares, mediana, fuerte; muy adherente, plástico, friable en húmedo, muy duro en seco; muchos poros intersticiales de muy finos a finos; abundantes raíces finas; límite gradual, irregular.
C ₂	37 – 110	Presenta un color pardo grisáceo oscuro (2.5 Y 4/2) en húmedo y gris parduzco claro a pardo grisáceo (2.5 Y 6/2 - 5/2) en seco, de textura franco arcilloso, horizonte con mucha grava (70%) y pedregosidad en 2%; estructura en bloques subangulares, mediana, moderada; adherente, plástico, muy friable en húmedo, duro en seco; muchos poros intersticiales muy finos y pocos finos; muy pocas raíces muy finas; límite gradual, irregular.
C ₃	> 110	Presenta un color pardo grisáceo oscuro (2.5 Y 4/2) en húmedo y gris parduzco claro (2.5 Y 6/2) en seco, de textura franco arcilloso, con mucha grava (50%) y con pedregosidad en nivel de 30%; estructura en bloques subangulares, mediana a gruesa, moderada; adherente, plástico, friable en húmedo, duro en seco; muchos poros muy finos y pocos medianos; no se observó presencia de raíces.



Fotografía 7. Perfil del suelo parte alta pie de monte

5.1.1.1.3 Resultados del análisis físico-químico

Como podemos observar en el cuadro 8 se tiene los resultados del análisis físico - químico de esta unidad.

Cuadro 8. Resultados del análisis físico-químico de la unidad (PAPM)

Horizonte	Prof. (cm)	Granulometría en %				TEXT	PH en agua	CE mmhos/cm. 15	
		A	L	Y					
A ₁	0 – 20	44	28	28	FY	6,43	1,353		
	Prof. (cm) 0 – 20	Dap (g/cc) 1,4				Grava % 31,8	Porosidad en % 48		
	Prof. (cm)	Cationes de cambio meq/ 100 g de suelo				TBI	PSI %	N Total %	P Asim ppm
		Ca	Mg	Na	K				
	0 – 20	22,51	10,04	8,95	0,24	41,74	1,97	0,03	12,85

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a los resultados del análisis físico del suelo, se tiene suelos de textura franco arcilloso modificada por la presencia de gravas que es característico de suelos en las zonas secas, es una textura media donde se encuentra entre los suelos pesados y livianos, los cuales no se compactan y tiene buena infiltración. Teniendo un porcentaje de porosidad de 48%.

El pH se encuentra en un rango neutro, por lo que nos indica que existe disponibilidad de nutrientes.

Según los datos de conductividad eléctrica (CE) el valor que presenta esta unidad se encuentra dentro el rango de 0 a 4 mmhos/cm, según los límites permisibles de clases de salinidad de suelos por la FAO (1977) y el porcentaje de sodio intercambiable (PSI) tiene un valor menor a 15%, por lo tanto, estos suelos se encuentran en niveles normales, no presentan problemas de sales ni sodio o sea son clase 0 libres de sales, debido a la lixiviación o lavado por las lluvias de temporada.

Los datos de porcentaje (%) de nitrógeno (N) nos indican que este suelo es muy pobre en materia orgánica, por que tiene menor al 0,1 %, esto debido a que son suelos casi minerales por su constante deposición por el arrastre de material de la serranía. El contenido de fósforo (P) asimilable se encuentra en un nivel moderado.

5.1.1.2 Parte media pie de monte (PMPM)

5.1.1.2.1 Características generales de la unidad

Esta unidad, se ha desarrollado a partir de un banco de pizarras y cuarcitas. Siendo estos suelos, depósitos coluviales provenientes de simas y serranías altas del lugar , debido a los deslizamientos y mazamoras frecuentes que se dan en la zona.

La pendiente esta comprendida entre 15 a 18%; siendo fuertemente ondulado. La erosión predominante es la hídrica, donde el agua constantemente va arrastrando material fino hacia las partes bajas, la forma de erosión es la laminar. Los suelos de esta unidad son bien drenados, existiendo muy pocas piedras y media presencia de gravas.

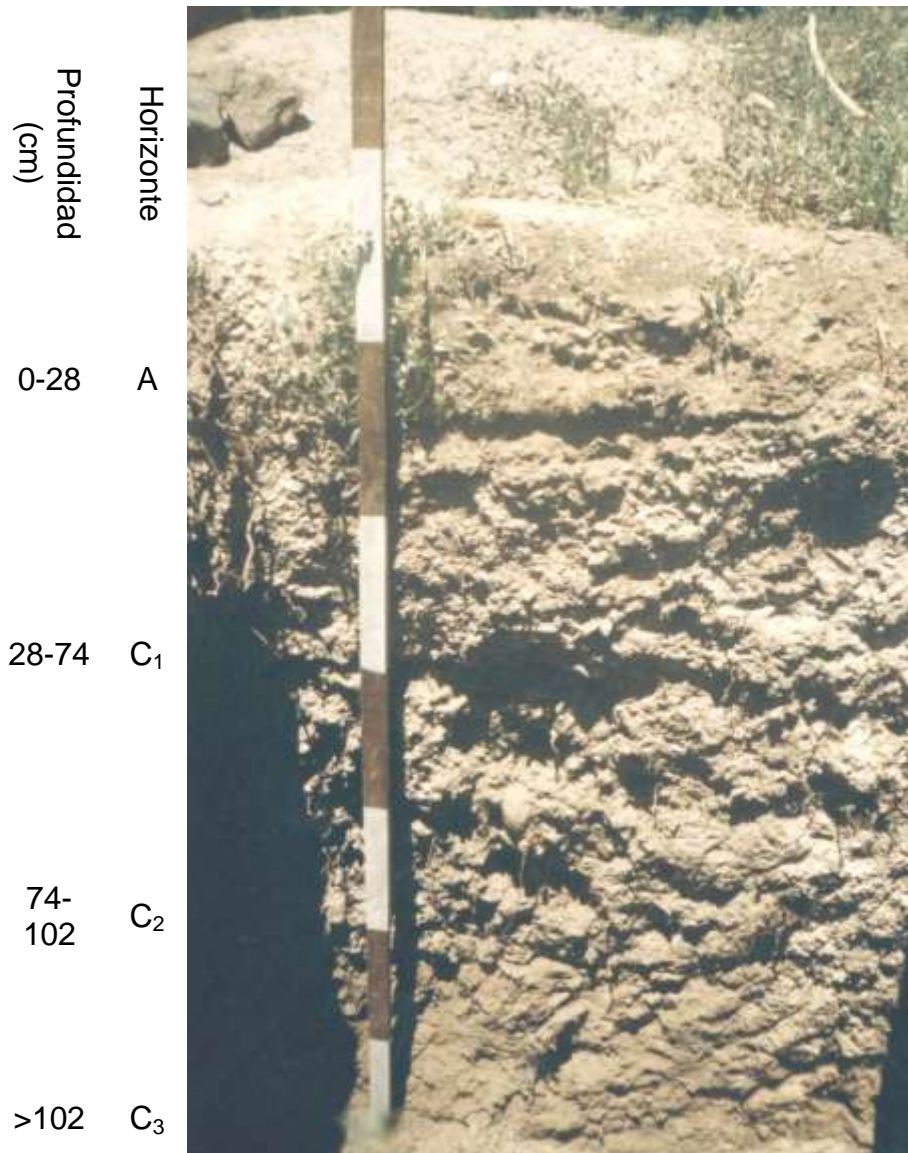
En el momento de la descripción del perfil, los suelos se encontraban con vegetación y uso de la tierra: terreno sin intervención de labranza. La vegetación natural establecida en el terreno esta compuesta por: molle (*Schinus molle L.*), algarrobo (*Prosopis alba Grisebach*), tuna (*Opuntia ficus indica*), atriplex erecto (*Atriplex semibaccata R. Brown*), atriplex rastrero (*Atriplex muelleri Benth*) y palan palan (*Nicotiana glauca Graham*).

5.1.1.2.2 Descripción del perfil

La secuencia de horizontes presentes en esta unidad, es como sigue: A;C₁;C₂;C₃.

A continuación se detalla las características por estratos:

Horiz	Prof. (cm)	Descripción
A	0 – 28	Presenta un color pardo grisáceo (2.5 Y 5/2) en húmedo y gris claro (2.5 Y 7/2) en seco, de textura franco arcilloso, contenido de 30 % de grava; estructura en bloques angulares, mediana, moderada; adherente, plástico, friable en húmedo, duro en seco; muchos poros intersticiales muy finos y pocos finos vesiculares; abundantes raíces finas y comunes medianas y gruesas; límite neto, plano.
C ₁	28 – 74	Presenta un color gris verde olivo (5 Y 4/2) en húmedo y gris verde olivo claro (5 Y 6/2) en seco, de textura franco arcilloso muy gravoso (60% de grava); estructura en bloques angulares, fina, débil a moderada; adherente, ligeramente plástico, muy friable en húmedo, ligeramente duro en seco; muchos poros intersticiales muy finos; comunes raíces finas a medianas y pocas gruesas; límite neto, plano.
C ₂	74 – 102	Presenta un color pardo grisáceo oscuro (2.5 Y 4/2) en húmedo y gris parduzco claro (2.5 Y 6/2) en seco, de textura franco arcilloso muy gravoso (50% de grava), pedregosidad de 7%; estructura en bloques angulares, de fina a mediana, débil a moderado; adherente, plástico, muy friable en húmedo, ligeramente duro en seco; muchos poros intersticiales muy finos; comunes raíces muy finas a medianas y pocas gruesas; límite neto, ondulado.
C ₃	> 102	Similar a horizonte C ₁ , con raíces comunes de finas a medianas y pocas gruesas.



Fotografía 8. Perfil del suelo parte media pie de monte

5.1.1.2.3 Resultados del análisis físico-químico

Como podemos observar en el cuadro 9 se tiene los resultados del análisis físico - químico de esta unidad.

Cuadro 9. Resultados del análisis físico-químico de la unidad (PMPM)

Horizonte	Prof. (cm)	Granulometría en %			TEXT	PH en agua 15	CE mmhos/cm 15		
		A	L	Y					
A ₁	0 – 20	29	38	33	FY	6,49	1,555		
	Prof. (cm) 0 – 20	Dap (gr/cc) 1,4			Grava % 24,7	Porosidad en % 49			
	Prof. (cm)	Cationes de cambio meq/100 gr de suelo				TBI	PSI %	N Total %	P Asim ppm
		Ca	Mg	Na	K				
	0 – 20	25,54	9,93	11,97	0,76	48.20	2,85	0,02	18,63

De acuerdo a los resultados del análisis físico del suelo, se tiene suelos de textura franco arcilloso modificada por la presencia de gravas que es característico de suelos en las zonas secas, es una textura media donde se encuentra entre los suelos pesados y livianos, los cuales no se compactan y tiene buena infiltración. Teniendo un porcentaje de porosidad de 49%.

El pH se encuentra en un rango neutro, por lo que nos indica que existe disponibilidad de nutrientes.

Según los datos de conductividad eléctrica (CE) el valor que presenta esta unidad se encuentra dentro el rango de 0 a 4 mmhos/cm, según los límites permisibles de clases de salinidad de suelos por la FAO (1977) y el porcentaje de sodio intercambiable (PSI) tiene un valor menor a 15%, por lo tanto, estos suelos se encuentran en niveles normales, no presentan problemas de sales ni sodio o sea son clase 0 libres de sales, debido a la lixiviación o lavado por las lluvias de temporada.

Los datos de porcentaje (%) de nitrógeno (N) nos indica que este suelo es muy pobre en materia orgánica por que tiene menor al 0,1 %, esto debido a que son suelos casi minerales por su constante deposición por el arrastre de material de la serranía. El contenido de fósforo (P) asimilable se encuentra en un nivel moderado.

Según resultados obtenidos del análisis físico - químico, se puede indicar que, estos suelos no tienen materia orgánica y tienen textura franco arcillosos modificados, los cuales según Peñaranda (2003), menciona que las características propias del suelo determinan su resistencia a la erosión. Si bien, en los suelos arenosos, debido a su mayor permeabilidad, el corrimiento superficial es menor que en los suelos más arcillosos, la erosión puede ser mayor en especial cuando ocurren lluvias intensas, a causa de su menor agregación y resistencia a la fuerza erosiva del agua. Por el contrario, los suelos con buena estructura y bien provistos de materia orgánica, presentan adecuada permeabilidad y mayor resistencia a la acción destructiva del agua, por lo cual sufren menos el fenómeno erosivo.

5.1.2 Evaluación de la vegetación por unidad geomorfológica

5.1.2.1 Especies de la parte alta (pie de monte)

Para obtener estos resultados, se realizó una inspección del lugar de estudio de la parte alta (pie de monte), donde se encontró las siguientes especies, que se detallan en el cuadro 10.

Cuadro 10. Descripción de especies de la parte alta pie de monte

No	Posición	Especie vegetal	
		Nombre común o local	Nombre científico
1	Alta	Atriplex rastrera	<i>Atriplex sp</i>
2		Cañahueca	<i>Arundo donax</i>
3		Molle	<i>(Schinus molle L.)</i>
4		Tuna	<i>Opuntia ficus indica</i>
5		Suncho	<i>Viguiera lanceolata</i>
6		Chillca rosada o tui	<i>Baccharis sp.</i>
7		Chillca	<i>Baccharis lanceolata</i>
8		Atriplex erecto	<i>Atriplex semibaccata R. Br.</i>
9		Pata de gallo	<i>Dactylis glomerata L.</i>
10		Chiji	<i>Muhlenbergia fastigiata (Presl) Henr</i>
11		Amor seco	<i>Xanthium spinosum L.</i>
12		Mata pollito	<i>Solanum sp.</i>
13		Algarrobo o Willca	<i>(Anadenanthera colubrina (Vell. Conc.) Benth</i>
14		Muni muni o Chiri chiri	<i>Bidens andicola Kunth</i>
15		Lillo	<i>Physocalymna scaberrimum Pohl</i>
16		Senecio	<i>Senecio vulgaris</i>
17		Lantana	<i>Lantana camara L.</i>
18		Acacia	<i>Acacia feddeana</i>
19		Algarrobo	<i>(Prosopis alba Grisebach)</i>
20		Cactus	
21		Laburdum	

Fuente: Elaboración propia

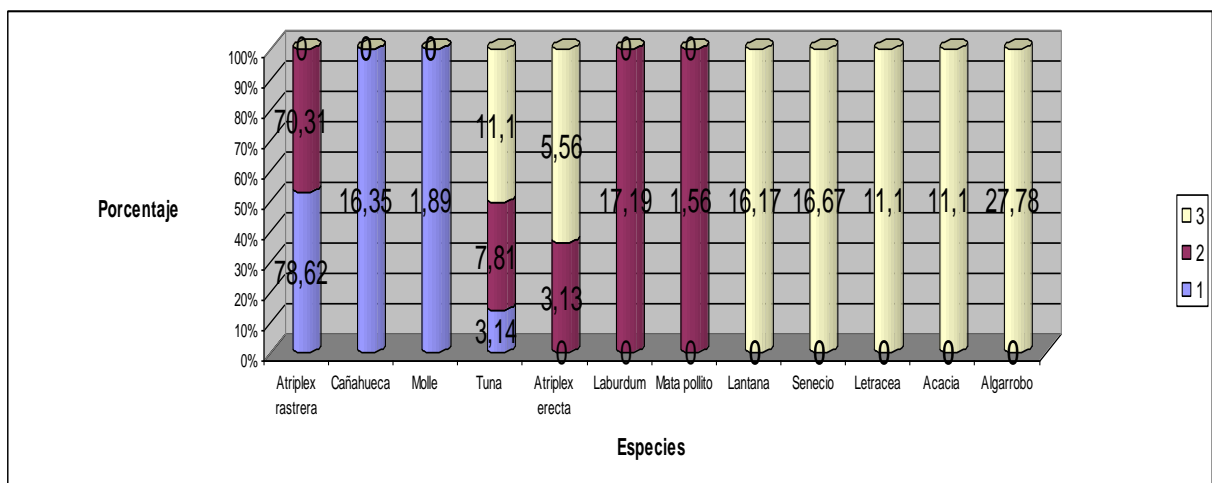
En la parte alta predomina las siguientes especies: tuna, cañahueca, molle, atriplex rastrera, chillca rosada y atriplex erecto, las asociaciones predominantes, son de molle con atriplex rastrera y cañahueca, otra asociación es de atriplex erecto con tuna y atriplex rastrera, por ultimo la asociación de algarrobo, tuna y lantana.

5.1.2.1.1 Diámetro, altura y porcentaje de plantas por parcela de la parte alta (pie de monte)

En el cuadro 11 y gráfica 6, podemos observar el diámetro, altura y porcentaje, de plantas de las parcela 1, 2 y 3 de la parte alta de pie de monte.

Cuadro 11. Diámetro y altura de plantas de la parte alta (pie de monte)

Especies	Parcela 1		Parcela 2		Parcela 3	
	Diámetro (m)	Altura (m)	Diámetro (m)	Altura (m)	Diámetro (m)	Altura (m)
Atriplex rastrera	0,34	0,13	0,65	0,22	-	-
Cañahueca	1,56	2,16	-	-	-	-
Molle	5,00	5,18	-	-	-	-
Tuna	0,34	0,44	-	0,51	-	1,27
Atriplex erecta	-	-	0,83	0,69	0,89	0,60
Laburdum	-	-	0,49	0,43	-	-
Mata pollito	-	-	0,37	0,40	-	-
Lantana	-	-	-	-	1,03	0,57
Senecio	-	-	-	-	0,36	0,82
Letracea	-	-	-	-	0,20	0,51
Acacia	-	-	-	-	0,88	0,70
Algarrobo	-	-	-	-	2,28	0,78



Gráfica 6. Porcentaje de especies en las parcelas de la parte alta pie de monte

Como se observa en el cuadro y gráfica anterior, podemos indicar que en la parcela 1, la atriplex rastrera y cañahueca, son las especies que existen en mayor porcentaje a diferencia de las demás, las cuales son de diferente diámetro y altura, siendo el molle la especie dominante de esta parcela y la atriplex rastrera como la especie más pequeña.

De igual forma en la parcela 2 la atriplex rastrera, laburdum y la tuna son las especies que existen en mayor porcentaje en relación a las otras especies, las cuales son de diferente diámetro y altura, siendo el atriplex erecto la especie dominante de esta parcela y la atriplex rastrera y mata pollito, como las especies más pequeñas.

En la parcela 3 el algarrobo, lantana y senecio, son las especies que existen en mayor porcentaje en relación a las otras especies, las cuales son de diferente diámetro y altura, siendo el algarrobo, la especie dominante de esta parcela y la letracea como la más pequeña.

5.1.2.2 Especies de la parte media (pie de monte)

Para obtener estos resultados, se realizó una inspección del lugar de estudio de la parte media (pie de monte), donde se encontró las siguientes especies que se detallan en el cuadro 12.

Cuadro 12. Descripción de las especies de la parte media pie de monte

No	Posición	Especie vegetal	
		Nombre común o local	Nombre científico
1	Media	Molle	<i>(Schinus molle L.)</i>
2		Cañahueca	<i>Arundo donax</i>
3		Atriplex rastrera o tiquili	<i>Atriplex sp</i>
4		Senecio	<i>Senecio vulgaris</i>
5		Berro blanco	<i>Mimulus glabratus kunth</i>
6		Paiko	<i>Chenopodium ambrosioides L.</i>
7		Kikuyo	<i>Pennisetum clandestinum Hochst.</i>
8		Suncho o Saca	<i>Viguiera lanceolata</i>
9		Eucalipto	<i>Eucalyptus globulus</i>
10		Chiri chiri o Muni muni	<i>Bidens andicola Kunth</i>
11		Tuna	<i>Opuntia ficus indica</i>
12		Atriplex erecto o Tuno	<i>Atriplex semibaccata R. Br.</i>
13		Kanapako	<i>Sonchus oleraceus L.</i>
14		Palan palan	<i>Nicotiana glauca Graham</i>
15		Lantana	<i>Lantana camara L..</i>
16		Lillo	<i>Physocalymna scaberrimum Pohl</i>
17		Chacatea	<i>Dodonea viscosa (L.)Jacq</i>
18		Algarrobo	<i>(Prosopis alba Grisebach)</i>
19		Tacamayo	
20		Tanca tanca	

Fuente: Elaboración propia

En la parte media predominan las siguientes especies: tuna, cañahueca, molle, atriplex erecto, algarrobo, tanca tanca y algunos frutales, como la pera, existe asociaciones de molle con cañahueca y atriplex rastrera, otra asociación de atriplex erecto con tuna y atriplex rastrera, por último la asociación de algarrobo con tuna

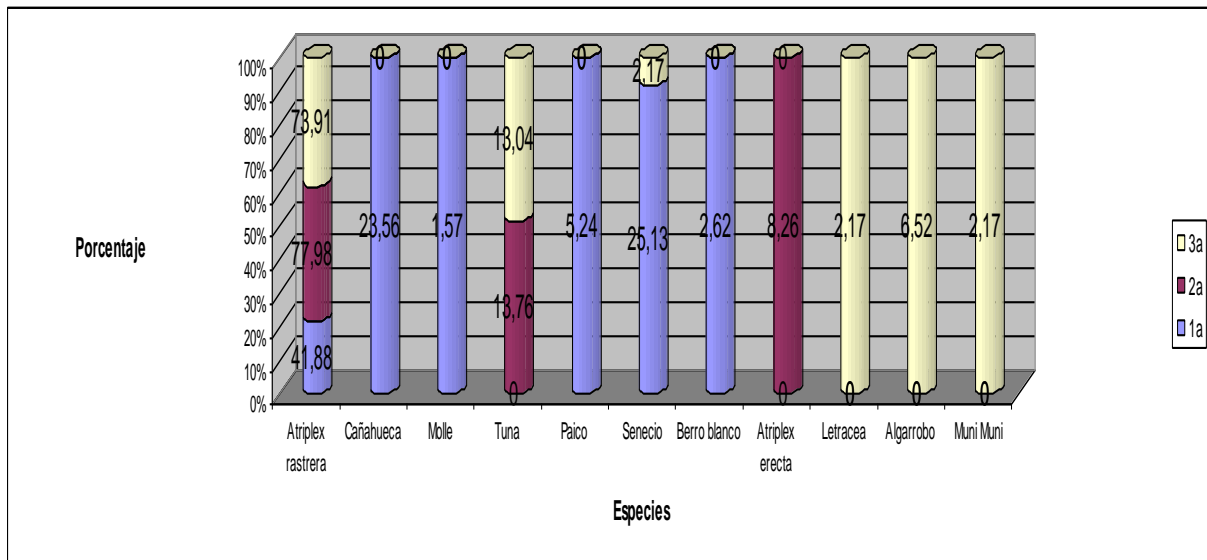
5.1.2.2.1 Diámetro, altura y porcentaje de plantas por parcela de la parte media (pie de monte)

En el cuadro 13 y gráfica 7 podemos observar el diámetro, altura y porcentaje, de plantas de las parcela 1a, 2a y 3a de la parte media de pie de monte.

Cuadro 13. Diámetro y altura de plantas de la parte media (pie de monte)

Especies	Parcela 1a		Parcela 2a		Parcela 3a	
	Diámetro (m)	Altura (m)	Diámetro (m)	Altura (m)	Diámetro (m)	Altura (m)
Atriplex rastrera	0,14	0,18	0,54	0,20	0,34	0,12
Cañahueca	2,87	2,05	-	-	-	-
Molle	3,47	3,60	-	-	-	-
Tuna	-	-	-	0,60	-	0,91
Paico	0,14	0,57	-	-	-	-
Senecio	0,19	0,42	-	-	0,18	0,74
Berro blanco	0,26	0,11	-	-	-	-
Atriplex erecto	-	-	1,67	0,56	-	-
Letracea	-	-	-	-	0,29	0,60
Algarrobo	-	-	-	-	2,94	1,43
Muni Muni	-	-	-	-	0,27	0,71

Fuente: Elaboración propia



Gráfica 7. Porcentaje de especies en las parcelas de la parte media pie de monte

Como se observa en el cuadro y gráfica anterior, podemos indicar que en la parcela 1a, la atriplex rastrera, senecio y la cañahueca son las especies que existen en mayor porcentaje en relación a las otras especies, las cuales son de diferente diámetro y altura, siendo el molle la especie dominante de esta parcela y la atriplex rastrera, el berro blanco como las más pequeñas.

De igual forma en la parcela 2a la atriplex rastrera es la especie que existe en mayor porcentaje en relación a las otras especies, las cuales son de diferente diámetro y altura, siendo el atriplex erecto la especie dominante de esta parcela y la atriplex rastrera como la más pequeña.

En la parcela 3a la atriplex rastrera es la especie que existe en mayor porcentaje en relación a las otras especies, las cuales son de diferente diámetro y altura, siendo el algarrobo la especie dominante de esta parcela y la letracea como la más pequeña.

Como se pudo observar anteriormente los resultados indican que existen diferentes especies de cobertura vegetal de esta zona de estudio, es así que, según Torrico (1997), señala que los árboles y arbustos juegan un rol preponderante en la vida del hombre, en especial de los habitantes del campo. Ellos proveen un sin número de productos útiles que son agentes importantes para el control de la erosión de los suelos, el mantenimiento de las condiciones microclimáticas y el ciclo de nutrientes de los ecosistemas naturales.

También señala que los valles secos interandinos, son los medios donde las plantas leñosas adquieren mayor importancia como fuente de recursos ya que las herbáceas solo se desarrollan durante la corta época húmeda, permaneciendo utilizables unos cuantos meses del año.

Por otra parte, Peñaranda (2003), indica que el tipo y densidad de vegetación que se desarrolla sobre un suelo es un factor de alta gravitación en la conservación del mismo. Desde los suelos desnudos hasta los cubiertos por un tapiz vegetal denso y

voluminoso, pasando por todos los estados intermedios, la erosión disminuye gradualmente desde el máximo poder destructor en el primer caso, hasta desaparecer o hacerse inocua en el segundo.

Piñeiro (2000), señala que la cubierta vegetal cerca de la superficie es de mayor importancia reduciendo los efectos erosivos en un 90%.

5.2 Comportamiento de las variables climáticas

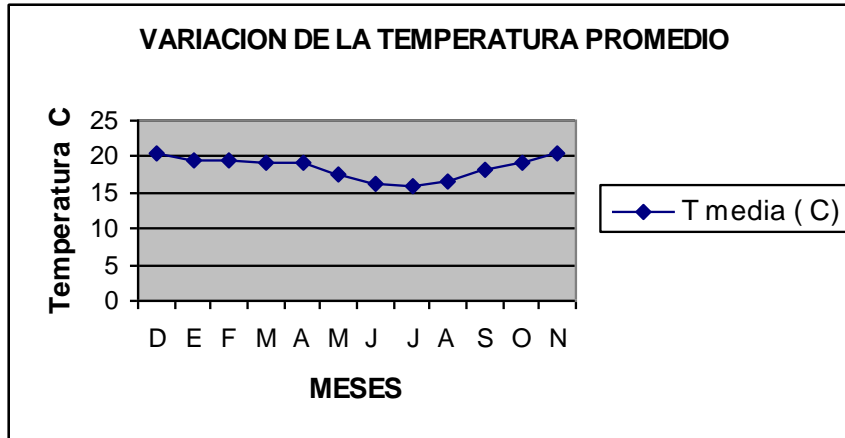
5.2.1 Temperatura

En base a las temperaturas registradas, como se aprecia en el cuadro 14 y gráfica 8, podemos observar un comportamiento en su variación muy heterogénea durante los meses del año, siendo los meses de mayo a agosto los que presentan temperaturas bajas, teniendo al mes de julio el que presenta la temperatura más baja. Los meses de temperatura agradable se limitan de septiembre a abril.

Cuadro 14. Datos meteorológicos

Meses	Temperaturas promedio °C	Precipitación promedio (mm)	Precipitación evaluada (mm)
Diciembre	20,3	50,4	43,3
Enero	19,4	72,0	80,1
Febrero	19,5	46,2	77,7
Marzo	19,1	47,9	29,6
Abril	19,1	10,8	7,4
Mayo	17,4	2,5	1,7
Junio	16,2	4,1	2,8
Julio	16,0	5,6	-
Agosto	16,7	9,5	-
Septiembre	18,1	1,2	-
Octubre	19,2	1,7	-
Noviembre	20,3	15,9	-
Total		295,8	242,6

Fuente: Elaboración propia en base a los datos del SENAMHI



Fuente: SENAMHI 04

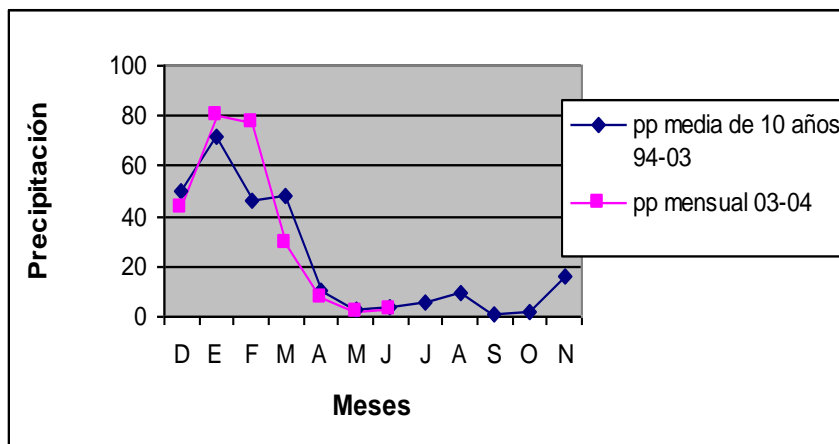
Gráfica 8. Representación gráfica de la temperatura promedio

5.2.2 Precipitación

Las precipitaciones registradas durante la gestión 2003 – 2004 en la localidad de Malavi Sivingal, de acuerdo a su comparación con los datos históricos de la estación más próxima Luribay (1994 – 2003) anexo 11, presentaron una diferencia como se observa en la gráfica 9.

Entre los meses de enero y febrero, las lluvias de Malavi Sivingal fueron mayores a las precipitaciones históricas de Luribay en aproximadamente 4% y 10% respectivamente (gráfica 19), sin embargo los meses que presentaron menor promedio fueron: diciembre, marzo y abril con 2%; 8% y 1% respectivamente, y el resto de los meses presentaron un comportamiento similar.

La precipitación media durante los meses del año, es muy variada, considerando la mayor parte del año como secos abril a noviembre y húmedos entre los meses de diciembre a marzo comprendiendo los mismos el 73,2 % del total de las precipitaciones acaecidas durante el año promedio, tal como se aprecia en el cuadro 14, gráfica 9.



Fuente: SENAMHI 04

Gráfica 9. Precipitación mensual (2003- 2004) de la Comunidad de Malavi Sivingal y promedio de 10 años (1994 – 2003) estación metereológica de Luribay

La gráfica anterior nos muestra la precipitación pluvial más elevada de la gestión 2003 y 2004, alcanzando un máximo de 80,1 mm en el mes de enero. Después de ese mes hubo un descenso constante, hasta reducirse a 2,8 mm en el mes de junio. En consecuencia la precipitación pluvial promedio de 10 años, el mes de mayor precipitación fue enero con 72,0 mm hasta reducirse a 2,5 mm en el mes de mayo.

5.2.2.1 Comportamiento de las precipitaciones

El cuadro 15, indica el registro de las precipitaciones totales mensuales, durante el estudio (2003-2004).

Cuadro 15. Registro de las precipitaciones mensuales durante el estudio

Meses	Precipitación Total			Precipitación que causo erosión		
	No. de eventos	mm	%	No. de eventos	mm	%
Diciembre	8	43,3	17,8	6	23,8	9,80
Enero	24	80,1	33,0	12	58,0	23,89
Febrero	14	77,7	32,0	11	71,7	29,54
Marzo	6	29,6	12,2	2	26,5	10,92
Abril	3	7,4	3,1	1	5,7	2,35
Mayo	3	1,7	0,7	0	0,0	0,00
Junio	4	2,8	1,2	0	0,0	0,00
Total	62	242,6	100,0	32	185,7	76,50

Fuente: Elaboración propia

Los resultados del cuadro anterior señalan, que de un total de 62 eventos de lluvia, 32 produjeron escorrentía y erosión, donde el mes de diciembre con un total de 8 eventos, aportó el 17,8% de la precipitación total, de los cuales 6 eventos produjeron escorrentía y erosión, aportando con el 9,80% del total de pérdida de suelo, el mes de enero fue el más lluvioso con 24 eventos aportando con el 33,0% de la precipitación total, de los cuales 12 eventos produjeron escorrentía y erosión, aportando con el 23,89% del total de pérdida de suelo. El mes de febrero con 14 eventos registrados, aportaron el 32,0 % de la precipitación total, de los cuales 11 eventos provocaron escorrentía y erosión, aportando con el 29,54% del total de pérdida de suelo, lo cual indica que en este mes ocurrieron lluvias de alta intensidad, el mes de marzo pese a registrar un total de 6 lluvias, sólo 2 produjeron escorrentía y erosión, aportando con el 10,92% del total de pérdida de suelo y finalmente el mes de abril de 3 eventos, uno de ellos produjo escorrentía y erosión, aportando con el 2,35% del total de pérdida de suelo constituyéndose el mes menos lluvioso, lo que indica que lluvias de baja intensidad y corta duración fueron menos perjudiciales

Suares de Castro citado por García (1992), señala que el agua de lluvia, ejerce su acción erosiva sobre el suelo a través del impacto de las gotas de lluvia, las cuales crean velocidad y energía variable según sea su diámetro y mediante la escorrentía.

5.2.2.2 Intensidad

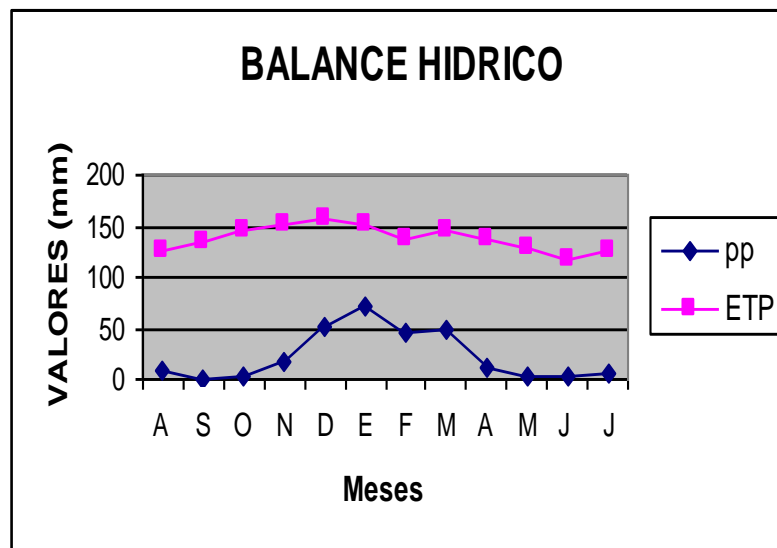
Según resultados obtenidos en campo, podemos señalar que las precipitaciones de 14,9; 10,0 y 8,3 mm cayeron en un tiempo de 1,35; 0,30 y 2,45 h. respectivamente, los cuales provocaron la misma erosión. Estos resultados son corroborados por Urbano (1997), quien señala que la pérdida de suelo están estrechamente relacionadas con dos tipos de lluvia, la tormenta intensa de corta duración que supera la capacidad de infiltración del terreno y la tormenta de larga duración y baja intensidad que satura el suelo.

5.2.2.3 Balance Hídrico

Según Choquecallata (1999), indica que el método de Blaney Criddle para el cálculo de Evapotranspiración Potencial (ETP), es el que más se acomoda a las condiciones de altiplano y valle, por lo que en base a ello se ha confeccionado el Balance hídrico, cuadro 16 y gráfica 10.

Cuadro 16. Balance Hídrico

	MESES											
	D	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N
T °C	20,3	19,4	19,5	19,1	19,1	17,4	16,2	16,0	16,7	18,1	19,2	20,3
ETP mm/día	5,05	4,93	4,77	4,72	4,55	4,18	3,88	4,01	4,10	4,43	4,73	5,05
ETP mm/mes	156,55	152,83	138,33	146,32	136,50	129,58	116,40	124,31	127,10	132,90	146,63	151,44
Pp mm/mes	50,4	72,0	46,2	47,9	10,8	2,5	4,1	5,6	9,5	1,2	1,7	15,9
Demanda mm/mes	106,55	80,83	92,13	98,42	125,70	127,08	112,30	118,71	117,60	131,70	144,93	135,54



Fuente: Elaboración propia

Gráfica 10. Balance hídrico Blaney Criddle

En función a los cálculos de ETP, durante el año los mismos presentan una variación casi homogénea, se ha encontrado la mayor evapotranspiración potencial en los meses de noviembre, diciembre y enero con 151,44; 156,55 y 152,83 mm respectivamente, debido a las altas temperaturas, así mismo se registraron la menor ETP en el mes de junio con 116,40 mm.

5.3 Escurrimiento

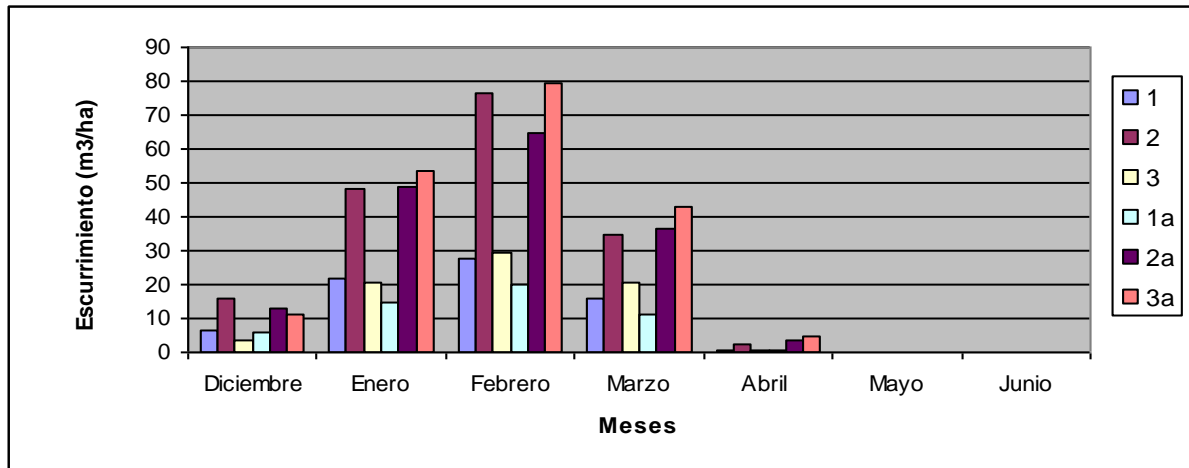
Piñeiro (2000), indica que el escurrimiento tiene una relación directa entre la cantidad e intensidad de las precipitaciones con las tasas de suelo erosionado por cada mes.

En el cuadro 17 y gráfica 11 nos muestran, el escurrimiento por mes y parcela.

Cuadro 17. Escurrimiento mensual

Meses	Precipitación (mm)	Escurrimiento (m ³ /ha)					
		Parcelas					
		1	2	3	1a	2a	3a
Diciembre	43,30	6,65	16,07	3,35	5,77	12,76	11,15
Enero	80,10	21,67	48,49	20,75	14,58	48,59	53,62
Febrero	77,70	27,84	76,54	29,67	20,21	64,80	79,16
Marzo	29,60	16,16	34,87	20,88	11,28	36,35	42,93
Abril	7,40	0,48	2,17	0,66	0,48	3,28	5,00
Mayo	1,70	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Junio	2,80	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Total	242,60	72,80	178,14	75,31	52,32	165,78	191,86
Promedio		2,35	5,75	2,43	1,69	5,34	6,19

Fuente: Elaboración propia



Gráfica 11. Escurrimiento mensual (m^3/ha)

Piñeiro (2000), señala que en las zonas de los Yungas, en muchos casos, la escorrentía se producía a los 5 minutos de iniciadas las lluvias intensas y en pendientes comprendidas entre 10 a 30%, se prevee que el 72% de las precipitaciones, se pierden por escurrimiento principalmente en los meses mas lluviosos que son enero, febrero y marzo existiendo una directa relación con las tasas de suelo erodado.

En la zona de estudio, también los meses de enero, febrero y marzo son los que presentaron mayor escurrimiento, debido a que se presento mayores precipitaciones con altas intensidades a diferencia de los meses de diciembre, abril, mayo y junio.

Entonces podemos aseverar que los mayores escurrimientos promedio ocurrieron en las asociaciones de atriplex erecto – atriplex rastrera – tuna ($5,75 m^3/ha$) y ($5,34 m^3/ha$) respectivamente, como también la asociación de algarrobo - atriplex rastrera - tuna – lantana ($6,19 m^3/ha$); así mismo, las parcelas que perdieron menor cantidad de agua fueron las que tenían la asociación de molle - atriplex rastrera - tuna – cañahueca ($2,35 m^3/ha$) y ($1,69 m^3/ha$) respectivamente, como también la asociación de algarrobo - atriplex rastrera - tuna – lantana ($2,43 m^3/ha$).

Sheng citado por Piñeiro (2000), menciona que la escorrentía de los campos cultivados en trópicos húmedos, en época de lluvia es inevitable, por tres razones:

1. La intensidad de las lluvias que excede la capacidad de infiltración normal de los suelos cultivados.
2. Los suelos en época de lluvia están saturados o casi saturados. Cualquier otra precipitación no puede más que escapar.
3. La escorrentía se produce tan rápido en pendientes escarpadas, debido a que los suelos tienen escasas posibilidades de retener y absorber el exceso de agua.

5.3.1 Tipo de partículas que son arrastrados por el escurrimiento

Según resultados del cuadro 18, se puede observar, el tipo de partículas que se pierde, tanto en la parte alta y media de pie de monte.

Cuadro 18. Partículas arrastradas por escurrimiento

Ubicación	Partículas
Parte alta (pie de monte)	42,6 % de Arena
	34,0 % de limo
	23,4 % de arcilla
Parte media (pie de monte)	46,6 % de Arena
	30,0 % de limo
	23,4 % de arcilla

Fuente: Elaboración propia

Por los resultados obtenidos en laboratorio, se puede determinar que el tipo de partículas arrastradas en la parte alta y media son mayormente arena y limo, es así que Peñaranda (2003), menciona la lluvia que cae con gran violencia produce el arrastre del suelo que se deposita en las depresiones y corre por las laderas. Cuando las corrientes alcanzan velocidades de 60 a 90 cm. o más por segundo, por lo regular arrastran y transportan las capas superficiales de los campos desprovistos de protección vegetal. Las velocidades menores que la expresada, causan a menudo la erosión de los mejores terrenos de arcilla y arena.

El análisis de varianza (Cuadro 19) muestra que no se hallan diferencias estadísticas, entre estratos en el escurrimiento, por lo que se puede decir que la parte alta y media de pie de monte, tienen el mismo escurrimiento, sin embargo se hallan diferencias estadísticas entre asociaciones por lo que se rechaza la hipótesis nula.

Así mismo, el coeficiente de variación para escurrimiento, fue de 11,7% lo que indica la confiabilidad de la toma de datos debido a que este valor no excede del 30 %.

Cuadro 19. Análisis de varianza para el escurrimiento superficial (m³/ha)

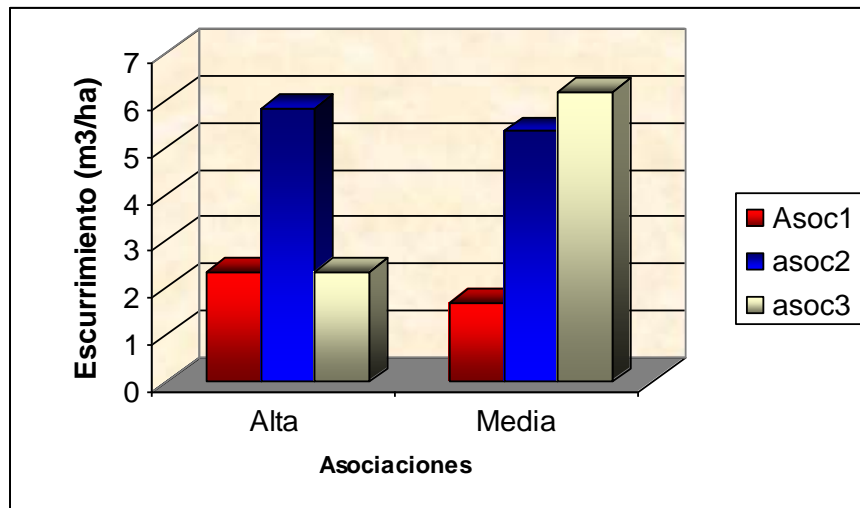
FV	GL	SC	CM	FC	Pr > F
Estratos	1	0,07767601	0,07767601	0,86	0,3564 ns
Asociación	2	1,30693541	0,65346771	7,19	0,0010 *
ESTRATO*ASOC	2	0,65165389	0,32582694	3,59	0,0297 *
Error	175	15,89620268	0,09083544		
Total	180	17,92713102			

Haciendo la comparación de medias (cuadro 20 y gráfica 12), podemos indicar que las parcelas 1 y 1a de la parte alta y media de pie de monte son las asociaciones que presentan menor escurrimiento en comparación a las demás parcelas.

Cuadro 20. Comparación de medias por estrato y asociación

Estrato	Asociación	Media
Alta	1	2,34838710
Alta	2	5,81310345
Alta	3	2,33142857
Media	1a	1,68774194
Media	2a	5,34774194
Media	3a	6,18903226

Fuente: Elaboración propia



Gráfica 12. Comparación de medias del escurrimiento (m³/ha)

La comparación de medias por el método de Duncan (cuadro 21), señala que el estrato alto y medio no presentan diferencias en cuanto al escurrimiento.

Cuadro 21. Comparación de medias entre estratos

ESTRATO	Medias	Resultado
Media	4,4082	A
Alta	3,4848	A

Fuente: Elaboración propia

Como el análisis de varianza presentó resultado significativo entre asociaciones, se procedió a la comparación de medias utilizando para este fin la prueba de Duncan. El cuadro 22, señala que la asociación de atriplex erecto - atriplex rastrera – tuna (5,573 m³/ha) y algarrobo - atriplex rastrera - tuna – lantana (4,358 m³/ha) son estadísticamente similares; así mismo la asociación de molle - atriplex rastrera - cañahueca - tuna (2,018 m³/ha) muestra diferencia estadística respecto a las otras asociaciones. Por ultimo, la asociación de molle - atriplex rastrera - cañahueca - tuna demuestra ser la que tiene mayor retención de agua de lluvia.

Cuadro 22. Comparación de promedios (Duncan)

Asociación	Medias	Resultado
2 – 2a	5,573	A
3 – 3a	4,358	A
1 – 1a	2,018	B

Fuente: Elaboración propia

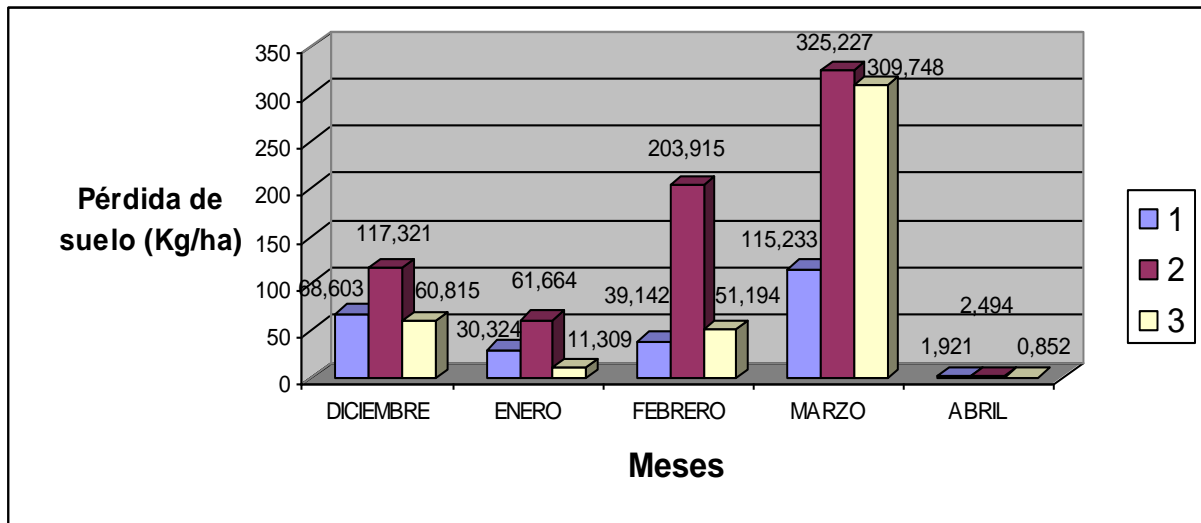
5.4 Evaluación de la pérdida de suelo

De acuerdo a los objetivos planteados en el presente estudio se tomo en cuenta las pérdidas de suelo a partir del mes de Diciembre (2003), hasta el mes de junio (2004), donde mayo y junio no presentaron pérdidas significativas, el intervalo no evaluado fueron los meses de julio, agosto, septiembre, octubre y noviembre del mismo año, considerándose como pérdidas nulas, como muestran los cuadros 23, 24 y gráficas 13, 14.

Cuadro 23. Pérdida de suelo (kg/ha) según asociaciones y mes de cada parcela en la parte alta de pie de monte

Parcelas	DICIEMBRE	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	Total (kg/ha)
1	68,603	30,324	39,142	115,233	1,921	255,223
2	117,321	61,664	203,915	325,227	2,494	710,621
3	60,815	11,309	51,194	309,748	0,852	433,918

Fuente: Elaboración propia



Gráfica 13. Pérdida de suelo mensual y por parcela (kg/ha) de la parte alta pie de monte

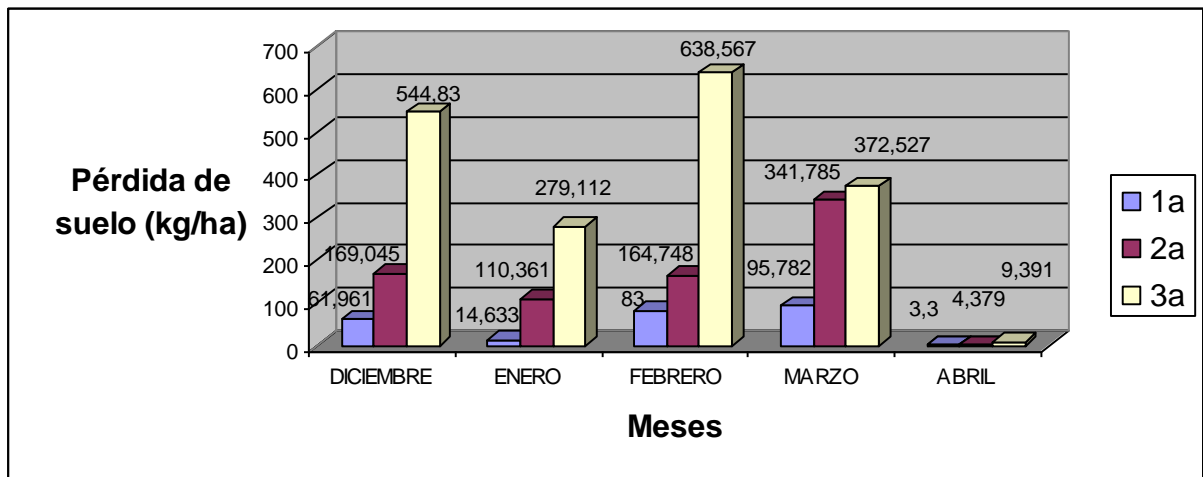
Observando los datos del cuadro y gráfica anterior podemos apreciar el comportamiento de las parcelas de la parte alta pie de monte, donde la parcela 2 con la asociación de: tuna, atriplex rastrera, atriplex erecto y laburdum, es la que registra valores altos de pérdida de suelo durante el experimento con una pérdida total de 710,621 (kg/ha) de suelo perdido, seguido de la parcela 3 con asociación de: algarrobo, acacia, lantana, senecio, atriplex rastrera y tuna y la parcela 1 con asociación de: molle, cañahueca, atriplex rastrera y tuna con 433,918 y 255,223 (kg/ha) de suelo perdido respectivamente.

También se puede aseverar, que la razón por la cual existió una mayor pérdida de suelo, fue durante el mes de marzo en las tres parcelas, esto debido al efecto climático donde se presentó una granizada y en mayor intensidad, la cual influyó sobre el parámetro pérdida de suelo en comparación a las demás precipitaciones que fueron de menor intensidad.

Cuadro 24. Pérdida de suelo (kg/ha) según asociaciones y mes de cada parcela en la parte media del pie de monte

Parcelas	DICIEMB RE	ENERO	FEBRER O	MARZO	ABRIL	Total
1a	61,961	14,633	83,030	95,782	3,300	258,706
2a	169,045	110,361	164,748	341,785	4,379	790,318
3a	544,830	279,112	638,567	372,527	9,391	1.844,427

Fuente: Elaboración propia



Gráfica 14. Pérdida de suelo mensual y por parcela (Kg/ha) de la parte media pie de monte

Observando los datos del cuadro y gráfica anterior, se puede apreciar el comportamiento de las parcelas, de la parte media del pie de monte donde la parcela 3a con asociación de: algarrobo, atriplex rastrera, senecio, letracea y tuna, registra los valores mayores de pérdida de suelo durante el transcurso del experimento, con un total de 1.844,427 (kg/ha) de suelo perdido, seguido de la parcela 2a con la asociación de: atriplex rastrera, atriplex erecto y tuna, por último la parcela 1a con la asociación de: molle, cañahueca, atriplex rastrera y paico con 790,318 y 258,706 (kg/ha) de suelo perdido respectivamente.

También se puede aseverar que la razón por la cual existió una mayor pérdida de suelo durante el mes de febrero, es debido a la influencia de los datos de la parcela 3a, debido a que presenta menor porcentaje de cobertura vegetal como se observa en la gráfica 16.

5.4.1 Pérdida de suelo por unidad experimental

Las pérdidas de suelo acumuladas de las distintas asociaciones de cobertura vegetal, evaluadas no rebasaron de 2 t/ha/año, por lo que no excede a 10 t/ha/año, considerándose que las parcelas tienen una erosión ligera como indica en el mapa preliminar de erosión de suelos (1996), a continuación se observa en el cuadro 25 las tazas de pérdida de suelo anual por asociación.

Cuadro 25. Tazas de pérdida de suelo por asociación en t/ha/año parte alta pie de monte

Parcela	Asociación	Variación de la pendiente (%)	Pérdida de suelo t/ha/año
1	Molle (<i>Schinus molle</i> L.), cañahueca (<i>Arundo donax</i>), atriplex rastretera (<i>Atriplex sp</i>) y tuna (<i>Opuntia ficus indica</i>)	15 - 18	0,29
2	Tuna (<i>Opuntia ficus indica</i>), atriplex erecto (<i>Atriplex semibaccata</i>), atriplex rastretera (<i>Atriplex sp</i>)	15 - 18	0,78
3	Algarrobo (<i>Prosopis alba</i> Grisebach), acacia (<i>Acacia feddeana</i>), tuna (<i>Opuntia ficus indica</i>), senecio, lantana (<i>Lantana camara</i> L)	15 - 18	0,47

Parte media pie de monte

Parcela	Asociación	Variación de la pendiente (%)	Pérdida de suelo t/ha/año
1a	Molle (<i>Schinus molle L.</i>), cañahueca (<i>Arundo donax</i>), atriplex rastrera (<i>Atriplex sp</i>) y tuna (<i>Opuntia ficus indica</i>).	15 - 18	0,29
2a	Tuna (<i>Opuntia ficus indica</i>), atriplex erecto (<i>Atriplex semibaccata</i>), atriplex rastrera (<i>Atriplex sp.</i>)	15 - 18	0,87
3a	Algarrobo (<i>Prosopis alba Grisebach</i>), tuna (<i>Opuntia ficus indica</i>), senecio, atriplex rastrera (<i>Atriplex sp</i>)	15 - 18	2,02

Fuente: Elaboración propia

El cuadro y la gráfica anterior nos muestran la pérdida de suelo en t/ha/año, donde las parcelas 1 y 1a tanto de la parte alta y media de pie de monte, tienen similar pérdida de suelo, a la vez ambos presentan menor pérdida con respecto a las demás parcelas. Esto, debido a que estas parcelas tienen la asociación de molle (*Schinus molle L.*), cañahueca (*Arundo donax*), atriplex rastrera (*Atriplex sp*) y tuna (*Opuntia ficus indica*), seguido por las parcelas 2 y 2a, los cuales cuentan con la asociación de tuna (*Opuntia ficus indica*), atriplex erecto (*Atriplex semibaccata*), atriplex rastrera (*Atriplex sp*), mientras que las parcelas 3 y 3a, tienen diferente pérdida de suelo, esto debido a que en la parcela 3 de la parte alta, tiene mayor porcentaje de cobertura vegetal que la parcela 3a de la parte media, contando con la misma asociación de algarrobo (*Prosopis alba Grisebach*), acacia (*Acacia feddeana*), tuna (*Opuntia ficus indica*), senecio, lantana (*Lantana camara L.*).

Estos datos podemos corroborar con lo que indica la revista de Agricultura de la UMSS (1990), donde los factores que afectan a la escorrentía y erosión son: la erosividad, erodabilidad, pendiente, cobertura vegetal y otros.

Las diferencias en la pérdida de suelo, se deben a la eficiencia con la que las distintas asociaciones, protegen el suelo del impacto de las gotas de lluvia, las mismas que aumentan de tamaño a medida que incrementa la intensidad de la lluvia golpeando el suelo con mayor fuerza, especialmente cuando el suelo esta desprovisto de vegetación (FAO, 1983).

Para determinar si existen diferencias estadísticas entre asociaciones y estratos se efectuó el análisis de varianza (cuadro 26), por lo que se rechaza la hipótesis nula.

Así mismo, el coeficiente de variación para pérdida de suelo, fue de 0,7% lo que indica la confiabilidad de la toma de datos debido a que este valor no excede del 30 %.

Cuadro 26. Análisis de varianza de las pérdidas de suelo (kg)

FV	GL	SC	CM	FC	Pr > F
ESTRATO	1	0,00123219	0,00123219	4,41	0,0372 *
ASOC	2	0,00254667	0,00127334	4,55	0,0118 *
ESTRATO*ASOC	2	0,00206087	0,00103043	3,68	0,0270 *
Error	180	0,05033843	0,00027966		
Total	185	0,05617816			

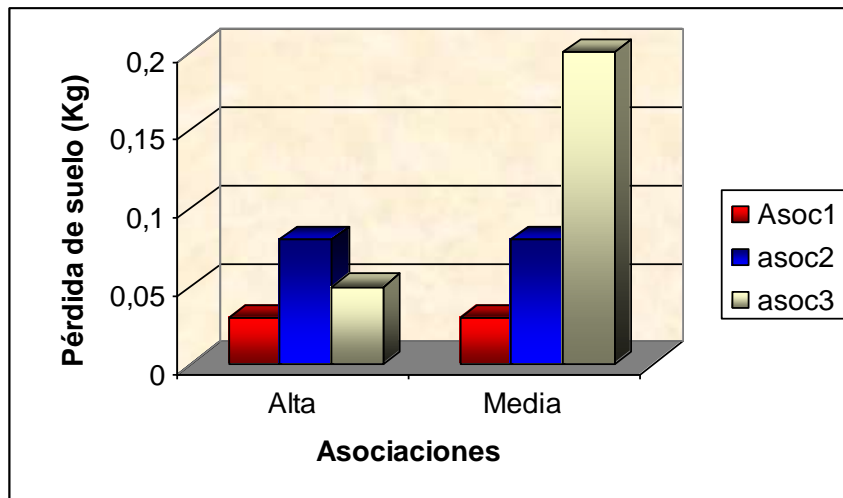
Fuente: Elaboración propia

Haciendo la comparación de medias (cuadro 27 y gráfica 15), podemos indicar que las parcelas 1, 1a de la parte alta y media de pie de monte son las asociaciones que presentan menor pérdida de suelo en comparación de las demás parcelas.

Cuadro 27. Comparación de medias por estrato y asociación

Estrato	Asociación	Media
Alta	1	0,02700000
Alta	2	0,07574194
Alta	3	0,04622581
Media	1a	0,02758065
Media	2a	0,08409677
Media	3a	0,19635484

Fuente: Elaboración propia



Gráfica 15. Comparación de medias de pérdida de suelo (kg)

Como el análisis de varianza presentó significativo entre estratos, se procedió a la comparación de medias, utilizando para este fin la prueba de Duncan. En el cuadro 28, señala que el estrato medio presenta mayor pérdida de suelo 0.103 kg a diferencia de la parte alta 0,050 kg.

Cuadro 28. Comparación de medias entre estratos

ESTRATO	Medias	Resultado
Alta	0,050	B
Media	0,103	A

Fuente: Elaboración propia

De igual forma el análisis de varianza presentó significancia entre asociaciones para el control de la erosión hídrica, procediéndose a la comparación de medias utilizando para este fin la prueba de Duncan. En el cuadro 29 se puede apreciar que las asociaciones 3 y 2 tienen similar pérdida de suelo, con respecto a la asociación 1, ya que esta asociación es la que presenta menor pérdida de suelo.

Cuadro 29. Comparación de promedios (Duncan)

Asociación	Medias	Resultado
3 – 3a	0,121	A
2 – 2a	0,080	A
1 – 1a	0,027	B

Fuente: Elaboración propia

5.4.2 Comportamiento de las parcelas según el escurrimiento y pérdida de suelo

En la gráfica del anexo 12, podemos observar que la parcela 3a de la parte media de pie de monte, es la que ha presentado durante todo el periodo experimental, mayor escurrimiento y mayor pérdida de suelo, esto debido a que tiene menor porcentaje de cobertura vegetal como se puede observar en la gráfica 16 en relación a las demás parcelas, del mismo lugar donde esta ubicada esta parcela. En las parcelas de la parte alta pie de monte la parcela 2 es la que presentó mayor escurrimiento y pérdida de suelo en relación a las otras parcelas, debido a que tiene menor cobertura vegetal como se observa en la gráfica 16.

5.4.3 Pérdida de suelo según porcentaje y tipo de cubierta vegetal

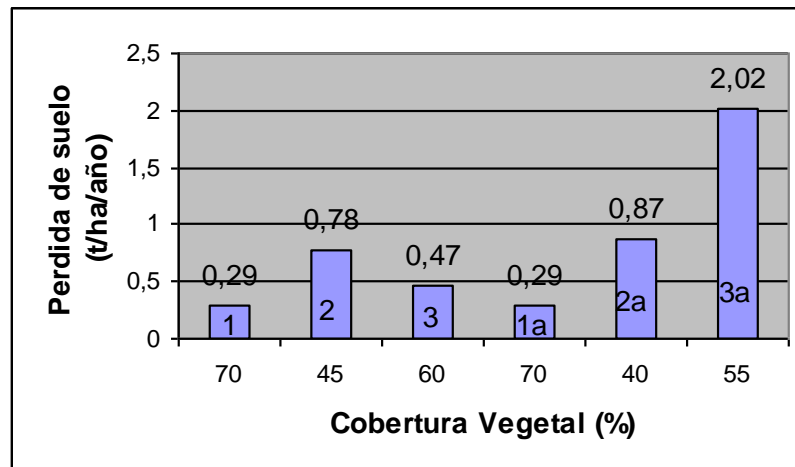
Piñeiro (2000), señala que las tasas de erosión real en la zona de los yungas, en el cultivo de racacha es ligera debido al manejo cultural que se realiza en este cultivo a diferencia de lugares en barbecho y con una precipitación de 1.138,2 mm/año.

García (1992), señala que la vegetación nativa es la que registra menor pérdida de agua, debido a que no se altero su cubierta vegetal, ni removido el suelo a diferencia de los demás cultivos.

También indica que en la provincia Campero del departamento de Cochabamba, lugares con barbecho y otros existe mayor pérdida de suelo a diferencia de lugares con cultivos de leguminosas como la arveja que tiene cubierta densa, las cuales presentan menor pérdida de suelo y con una precipitación de 282,5 mm/año.

Zonas que cuentan con especies de mayor amplitud de protección, tendrán menor pérdida de suelo y zonas con menor amplitud y cantidad de especies, tendrán mayor pérdida de suelo, a diferencia de la cubierta vegetal de la provincia Campero del departamento de Cochabamba, relacionando con la zona de estudio Malaví Sivingal tiene una precipitación de 242,60 mm/año.

La gráfica 16 nos muestra la pérdida de suelo (t/ha/año) en cada parcela según el porcentaje de cobertura vegetal.



Fuente: Elaboración propia
Gráfica 16. Pérdida de suelo según el porcentaje de cobertura vegetal

En la gráfica anterior, muestra el porcentaje de cobertura vegetal y la pérdida de suelo, donde se puede observar que la parcela 3a perteneciente a la parte media de pie de monte presentó la mayor pérdida de suelo con respecto a todas las demás

parcelas ubicadas en la misma unidad geomorfológica, debido a que tiene menor porcentaje de cobertura vegetal.

En la parte alta pie de monte la parcela 2 es la que presentó mayor pérdida de suelo, debido a que también presenta menor porcentaje de cobertura vegetal, incidiendo en los resultados mostrados anteriormente.

Estos resultados son corroborados por la FAO (1967), quien señala que la pérdida de suelo está estrechamente relacionada en terrenos a barbecho desnudo y no así en terrenos con cubierta vegetal lo cual reduce la erosión.

Según investigaciones de Quelca (1998), menciona que al 100% de deforestación de la thola existe mayor pérdida de suelo a diferencia de lugares donde existe mayor cantidad de plantas de thola, se puede determinar donde hay mayor porcentaje de cobertura vegetal no existe problemas erosivos.

García (1992), señala que la erosión disminuye a medida que el porcentaje de cobertura vegetal incrementa, por la mayor protección que ofrece al suelo contra el efecto erosivo del impacto de las gotas de lluvia.

5.4.4 Pérdida de suelo según la pendiente

Según resultados de la zona en estudio, se puede considerar que presenta una erosión media debido a que tiene una pendiente de 15 a 18%, el cual esta en el rango determinado por Torrez citado por García (1992), el cual indica que en pendientes de 10 a 20% existe un escurrimiento rápido, donde el agua escurre en la superficie, sólo una pequeña parte se infiltra y se considera como erosión media.

5.5 Correlación de las variables de respuesta por parcela

Con referencia a la correlación de las variables pérdida de suelo versus precipitación, escurrimiento e intensidad que se detallan en el anexo 13, se puede apreciar a

manera general que los cuadros de todas las parcelas, tanto de la parte alta y media de pie de monte presentan una correlación positiva y altamente significativa entre pérdida de suelo, escurrimiento y la precipitación a través del ciclo del ensayo. Este resultado nos indica que la pérdida de suelo es una variable dependiente de la precipitación y el escurrimiento, lo que significa que a mayor precipitación hay mayor escurrimiento y por ende mayor pérdida de suelo.

La intensidad es una variable de respuesta que nos muestra una correlación negativa, en relación a la pérdida de suelo a través del ciclo del ensayo, lo que significa que a mayor intensidad existe menor pérdida de suelo.

5.6 Análisis de regresión lineal múltiple para pérdida de suelo versus precipitación, escurrimiento e intensidad según parcelas

Parcela 1

Como se puede observar en el cuadro 30, se tiene los resultados del análisis de regresión lineal múltiple para la parcela 1, el cual esta compuesto por la asociación de (molle, cañahueca, atriplex rastrera y tuna).

Cuadro 30. Regresión lineal múltiple de la parcela 1

Coefficientes(a)

Modelo	Coeficientes no estandarizados		t	Sig.
	B	Error típ.		
1 (Constante)	35,416	17,793	1,990	0,056
Precipitación	-8,785	6,451	-1,362	0,184
Escurrimiento	9,705	3,187	3,046	0,005
Intensidad	-5,749	2,854	-2,014	0,054

a Variable dependiente: Pérdida de suelo

Como podemos ver los resultados de regresión lineal múltiple, nos indica que durante el período de lluvias, esta parcela, presentó por cada mm de precipitación la

disminución de 8,785 g de suelo, eso quiere decir que esta parcela no es afectada por la precipitación, por otra parte podemos indicar que por cada litro de escurrimiento, la pérdida de suelo aumenta en 9,705 g, por último podemos decir que por cada hora de intensidad de lluvia, hay una disminución de 5,749 g, esto indica que la intensidad no interviene en la pérdida de suelo.

Estos resultados nos indican que en esta parcela hay una pérdida de suelo, sólo por escurrimiento y no así por las demás variables, esto debido a que existe mayor protección por la asociación de cobertura vegetal existente en dicha parcela, existiendo especies que tienen mayor diámetro de planta y presenta el 70 % de cobertura vegetal.

Parcela 2

Como se puede observar en el cuadro 31, se tiene los resultados del análisis de regresión lineal múltiple para la parcela 2, el cual esta compuesto por la asociación de (tuna, atriplex erecto, atriplex rastrera).

Cuadro 31. Regresión lineal múltiple de la parcela 2

Coeficientes(a)

Modelo	Coeficientes no estandarizados		t	Sig.
	B	Error típ.		
1 (Constante)	26,789	42,965	0,623	0,538
Precipitación	1,266	14,594	0,087	0,931
Escurrecimiento	8,542	3,542	2,411	0,023
Intensidad	-20,492	6,528	-3,139	0,004

a Variable dependiente: Pérdida de suelo

Los resultados de regresión lineal múltiple, nos indica que durante el periodo de lluvias, esta parcela presentó por cada mm de precipitación el aumento de 1,266 g de suelo, eso quiere decir que esta parcela ha sido afectada por la precipitación, por otra parte podemos indicar que por cada litro de escurrimiento, la pérdida de suelo

aumenta en 8,542 g, por último podemos decir que por cada hora de intensidad de lluvia hay una disminución de 20,492 g, esto indica que la intensidad no interviene en la pérdida de suelo.

Estos resultados indican que en esta parcela hay pérdida de suelo por precipitación y escurrimiento, no así por la otra variable, esto debido a que existen algunas especies que tienen mayor diámetro de planta y presenta el 45% de cobertura vegetal.

Parcela 3

Como se puede observar en el cuadro 32, se tiene los resultados del análisis de regresión lineal múltiple para la parcela 3, el cual esta compuesto por la asociación de (algarrobo, acacia, tuna, senecio, lantana).

Cuadro 32. Regresión lineal múltiple de la parcela 3

Coeficientes(a)

Modelo	Coeficientes no estandarizados		t	Sig.
	B	Error típ.		
1 (Constante)	8,289	10,260	0,808	0,426
Precipitación	6,400	2,672	2,396	0,024
Escurrecimiento	0,119	1,103	0,108	0,915
Intensidad	-5,305	1,706	-3,110	0,004

a Variable dependiente: Pérdida de suelo

Los resultados de regresión lineal múltiple, nos indica que durante el período de lluvias, esta parcela presentó por cada mm de precipitación el aumento es de 6,400 g de suelo, eso quiere decir, que esta parcela es afectada por la precipitación, por otra parte podemos indicar que por cada litro de escurrimiento, la pérdida de suelo aumenta en 0,119 g, por último podemos decir que por cada hora de intensidad de

lluvia hay una disminución de 5,305 g, esto indica que la intensidad no interviene en la pérdida de suelo.

Estos resultados nos indican que en esta parcela hay una pérdida de suelo, por precipitación y escurrimiento, no así por la variable intensidad, esto debido a la cobertura vegetal que existe en la parcela con algunas especies que tienen mayor diámetro de planta y presenta el 60% de cobertura vegetal.

Parcela 1a

Como se puede observar en el cuadro 33, se tiene los resultados del análisis de regresión lineal múltiple para la parcela 1a, el cual esta compuesto por la asociación de (molle, cañahueca, atriplex rastrera y tuna).

Cuadro 33. Regresión lineal múltiple de la parcela 1a

Coeficientes(a)

Modelo	Coeficientes no estandarizados		t	Sig.
	B	Error típ.		
1 (Constante)	20,791	10,154	2,048	0,050
Precipitación	-9,923	3,889	-2,551	0,016
Escurrimiento	16,421	3,023	5,433	0,000
Intensidad	-4,062	1,789	-2,271	0,031

a Variable dependiente: Pérdida de suelo

Los resultados de regresión lineal múltiple, nos indica que durante el periodo de lluvias, esta parcela presentó por cada mm de precipitación la disminución de 9,923 gr de suelo, eso quiere decir que esta parcela no es afectada por la precipitación, por otra parte podemos indicar que por cada litro de escurrimiento la pérdida de suelo aumenta en 16,421 gr, por último podemos decir que por cada hora de intensidad de lluvia la disminución es de 4,062 gr, esto indica que la intensidad no interviene en la pérdida de suelo.

Estos resultados nos indican que en esta parcela hay pérdida de suelo sólo por escurrimiento y no así por las demás variables, por la mayor protección de la asociación de cobertura vegetal existente en la parcela, debido a que algunas especies tienen mayor diámetro de planta y presenta el 70 % de cobertura vegetal.

Parcela 2a

Como se puede observar en el cuadro 34, se tiene los resultados del análisis de regresión lineal múltiple para la parcela 2a, el cual esta compuesto por la asociación de (tuna, atriplex erecto, atriplex rastrera).

Cuadro 34. Regresión lineal múltiple de la parcela 2a

Coefficientes(a)

Modelo	Coeficientes no estandarizados		t	Sig.
	B	Error típ.		
1 (Constante)	79,047	49,673	1,591	0,123
Precipitación	-13,357	18,753	-0,712	0,482
Escurrecimiento	8,349	3,957	2,110	0,044
Intensidad	-10,545	6,120	-1,723	0,096

a Variable dependiente: Pérdida de suelo

Los resultados de regresión lineal múltiple, nos indica que durante el periodo de lluvias, esta parcela presentó por cada mm de precipitación la disminución de 13,357 g de suelo, eso quiere decir que la parcela no es afectada por la precipitación, por otra parte podemos indicar que por cada litro de escurrimiento la pérdida de suelo aumenta en 8,349 g, por último podemos decir que por cada hora de intensidad de lluvia hay una disminución de 10,545 g, esto indica que la intensidad no interviene en la pérdida de suelo.

Estos resultados nos indican que en esta parcela hay pérdida de suelo sólo por escurrimiento y no así por las demás variables, esto debido a que algunas especies tienen mayor diámetro de planta y presenta el 40 % de cobertura vegetal.

Parcela 3a

Como se puede observar en el cuadro 35, se tiene los resultados del análisis de regresión lineal múltiple, para la parcela 3a, el cual esta compuesto por la asociación de (algarrobo, tuna, senecio, atriplex rastrera).

Cuadro 35. Regresión lineal múltiple de la parcela 3a

Coeficientes(a)

Modelo	Coeficientes no estandarizados		t	Sig.
	B	Error típ.		
1 (Constante)	-43,971	100,507	-0,437	0,665
Precipitación	118,642	33,949	3,495	0,002
Escurrimiento	8,340	6,507	-1,282	0,210
Intensidad	-49,544	13,454	-3,683	0,001

a Variable dependiente: Pérdida de suelo

Los resultados de regresión lineal múltiple, nos indica que durante el periodo de lluvias, esta parcela presentó por cada mm de precipitación el aumento de 118,642 g de suelo, eso quiere decir que la parcela es afectada por la precipitación, por otra parte podemos indicar que por cada litro de escurrimiento la pérdida de suelo aumenta en 8,340 g, por ultimo podemos decir que por cada hora de intensidad de lluvia, hay una disminución de 49,544 g, esto indica que la intensidad no interviene en la pérdida de suelo.

Estos resultados nos indican que en esta parcela hay pérdida de suelo por precipitación y escurrimiento, no así por la otra variable, esto debido a que las especies no tienen mayor diámetro de planta y presenta el 55 % de cobertura vegetal.

VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

Por los resultados obtenidos en el presente estudio se concluye lo siguiente:

1. El comportamiento climático del experimento presentó un ligero incremento en el mes de febrero respecto al promedio de 10 años, concluyéndose el mismo como la época de estudio normal. En cuanto al balance hídrico nos muestra que en todos los meses del año existe déficit hídrico, especialmente marcados en los meses de junio, julio, agosto, septiembre y octubre.
2. En la zona de estudio, se identificó que las especies atriplex rastrera, cañahueca, molle, tuna, atriplex erecto, algarrobo, lillo, senecio, willca y lantana son las que existen en mayor cantidad a diferencia de las demás detalladas en los cuadros 13 y 14. Existiendo asociaciones de “molle - atriplex rastrera - tuna – cañahueca”, otra es de “atriplex erecta - atriplex rastrera – tuna”, por último la asociación de “algarrobo - atriplex rastrera - tuna – lantana”.
3. Los suelos donde se desarrollo el estudio, presentan alta Capacidad de intercambio cationico, con presencia de gravas superficiales, buena infiltración y buena porosidad, pH neutro a ligeramente ácidos, sin problemas de salinidad y pobres en materia orgánica.
Asimismo, se determinó que los suelos de coloración gris parduzco (10 YR 6/2) pertenecientes a las unidades experimentales 1, 2, 3 de la parte alta pie de monte, presentan mayor resistencia a la erosión hídrica. Por el contrario, los suelos de coloración gris claro (2,5 Y 7/2) pertenecientes a las unidades experimentales 1a, 2a, 3a de la parte media pie de monte, son las que presentan inferior resistencia.

4. La asociación que presento mayor resistencia a la erosión hídrica fue la de “molle - atriplex rastrera - tuna – cañahueca”, por el contrario la que presento menor resistencia a la erosión fue la asociación de “algarrobo – tuna – senecio - atriplex rastrera”.
5. Las que presentan mayor pérdida de suelo son: la parcela 3a ubicada en la parte media pie de monte, con asociación de algarrobo, T, S, atriplex rastrera con 2,729 t/ha/año, seguido por las parcelas 2 y 2a con asociación de tuna, Ae, atriplex rastrera con 1,051 y 1,030 t/ha/año. Las que presentan menor pérdida de suelo son: la parcela 3 ubicada en la parte alta pie de monte con asociación de algarrobo, A, T, S, lantana con 0,541 t/ha/año, seguido por las parcelas 1 y 1a con asociación de molle, C, Ar y tuna con 0,334 y 0,357 t/ha/año.
6. Se determinó que las especies con diámetro de copa de 2 a 5 m., tal es el caso del molle, algarrobo, sirven como controladores de erosión debido a que estas llegan a cubrir y proteger el suelo en mayor área, como también la cañahueca, debido a que esta especie llega a extenderse en mayor superficie.
7. Por los resultados obtenidos del coeficiente de variación menor al 30 %, para los meses de diciembre, enero y febrero, se puede concluir que la toma de datos son confiables.
8. Según resultados de correlación indica que la pérdida de suelo es una variable dependiente de la precipitación y el escurrimiento, lo que significa que a mayor precipitación hay mayor escurrimiento y por ende mayor pérdida de suelo.
9. De acuerdo a resultados de la regresión lineal múltiple, las parcelas 1, 1a y 2a, tuvieron pérdida de suelo por escurrimiento, no así por las variables precipitación e intensidad, en la parcela 2 y 3 habrá pérdida de suelo por precipitación y escurrimiento y la parcela 3a tendrá pérdida de suelo por precipitación.

6.2 Recomendaciones

- Los resultados encontrados en el presente trabajo de investigación, son de mucha importancia, por lo que deben ser complementados con trabajos de validación, que involucre más años de estudio.
- Se recomienda apoyar a toda la comunidad pobladora de estas áreas, a disminuir al mínimo la tala o corte de las especies existentes y ampliar su repoblamiento con asociaciones de molle con cañahueca, atriplex rastrera, u otras asociaciones donde las especies tengan mayor diámetro de copa y dosel inferior arbustivo.
- La Honorable Alcaldía Municipal de Sapahaqui, en función al presente estudio, debe elaborar planes y proyectos de manejo de cuencas, que incorpore trabajos prácticos de conservación de suelos especialmente en lugares con pendientes, en coordinación con otras instituciones privadas y estatales presentes en la zona.
- Se recomienda realizar estudios forestales, como la recuperación de especies nativas o introducción de especies para la formación de bosques homogéneos los cuales sirvan como protectores del suelo y sean también materia prima para la elaboración de cajas de madera.

VII. BIBLIOGRAFIA

- Brockmann, E. 1986. Perfil Ambiental de Bolivia. Instituto Internacional para el Desarrollo y Medio Ambiente. La Paz – Bolivia. CID p. 99 y 100

- CENTRO DE INVESTIGACIÓN PARA EL DESARROLLO INTEGRADO (CIDERI), 1992. Manual para el uso integrado de la Tuna – Cochinilla en Nor y Sud Cinti – Chuquisaca. La Paz - Bolivia.

- Chambi Plata, Y. 2000 Efecto de la aplicación de 4 abonos orgánicos en perales (*Pirus comunis*) establecidos en Suelos con y sin laboreo en la zona de Sapahaqui Provincia Loayza del Departamento de La Paz. Tesis La Paz U.M.S.A p. 42

- Chilon Camacho, E. 1996 Manual de Edafología Prácticas de Campo y Laboratorio. La Paz – Bolivia Ediciones CIDAT 95 p.

- D´onofrio, G. 1995, La erosión hídrica de los suelos. Programa Fertisuelos La Paz - Bolivia FAO p. 3 y 25

- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, IT).1967 La erosión del suelo por el agua Algunas medidas para combatirla en las tierras de cultivo. Italia Roma, p. 42, 45, 58,174, 175 y 179

- FAO/ UNESCO 1977 Guía para la descripción de Perfiles de Suelo 2da. Ed. Servicio de Fomento y conservación de Recursos de Suelos, Direccion de fomento de Tierras y Agua Roma – Italia 70 p.

- Foth H.D. 1971 Fundamentos de la ciencia del Suelo. 1ra Ed. en Español de la 5ta Ed. en Ingles México Editorial Continental, S.A p. 420 y 421

- Fundación Hogares Juveniles Campesinos Biblioteca de Campo Manual Agropecuario Tecnologías Orgánicas de granja integral autosuficiente. Lexus Editores Colombia 1994 p. 55.
- García Siles, J. A. 1992 Determinación de las intensidades de Erosión Hídrica bajo 6 Coberturas Vegetales en Terrenos de ladera en la Provincia Campero. Tesis Cochabamba U.M.S.S p. 25, 26 y 27.
- Goitia Arze, L. 2003 Manual de Inventariación Forestal. La Paz – Bolivia U.M.S.A P 11.
- Henao, J. (1995). Introducción al manejo de Cuencas Hidrográficas. USTA. Santa Fe, Bogotá. DC, Colombia. 343 p.
- Huarachi Revollo, Eulogio 2002 Evaluación de Coberturas Vegetales para el control de la Erosión y como cultivos trampa de Nematodos del suelo en Chullchunqani. Tesis Cochabamba U.M.S.S. p. 48.
- Hudson, N. 1982. Conservación del suelo. REVERTE, S.A. Barcelona – España p. 7, 8, 18, 22, 29, 49, 50 y 227.
- Ibanez Quispe, V. 2000 Aplicaciones Estadísticas en Ganadería. 1ra Edición Puno Perú, Editorial Universitaria p. 25.
- Kirkby, M.J. 1994 Erosión de suelos EDITORIAL LIMUSA, S.A. de C.V GRUPO NORIEGA EDITORES Balderas 95, México, D.F p. 149 y 154.
- Lima Jacopa, J:L. 2003. Efecto de la Arvejilla (*Vicia villosa Roht*) bajo 3 densidades de siembra como cobertura sobre la erosión hídrica Provincia Camacho. Tesis. La Paz U.M.S.A p. 11, 15, 16 y 59.

- Martínez y Tomas 1968 Informe Geológico Preliminar de la hoja Saphaqui (ORSTOM) La Paz Bolivia p. 3 y 13.
- M.D.S.M.A (Ministerio de Desarrollo y Medio Ambiente), 1996. Memoria Explicativa Mapa Preliminar de Erosión de Suelos. Bolivia CID 50 p.
- Miranda Casas, R. 1995. Caracterización física y química de los suelos del Cantón de “San José de Llanga” y su relación con asociaciones vegetales. Tesis. La Paz. U.M.S.A p. 9 y 10.
- Montes de Oca, I. 1989 Geografía y Recursos Naturales de Bolivia. 2da Edición La Paz Bolivia Editorial Educacional del Ministerio de Educación y Cultura p 399 al 415.
- Morgan, R. 1997 Erosión y Conservación del suelo. Madrid, España Mundi Prensa p. 33 y 184.
- Morales Navia, L. 1979 Los recursos Naturales Renovables de Cochabamba, Agua, Clima, Suelo, Vegetación, Hombre. Editorial Canelas S.A. Cochabamba Bolivia p. 109.
- Murray R. S. 1970 Serie de Compendios Schaum Teoría y Problemas de Estadística José L. Gómez E. et al 1ra Edición México Libros Mc Graw – Hill México, S.A. de C.V. p 248 al 263.
- Nina, M. I. 1999 Especies Forestales Potenciales para plantaciones en Bolivia Serie Técnica II Proyecto de Coordinación e implementación del plan de acción forestal para Bolivia (FAO – GCP / Bolivia/028/NET). La Paz - Bolivia p.27.
- Orsag, V. 1998. “Evaluación de la erosión hídrica del Suelo” In. Sucre-Bolivia p. 11 y 12.

- Peñaranda R. V. H. et. al 2003 Aprovechamiento de Recursos Hídricos y Conservación de Suelos. La Paz – Bolivia EFIGRAF Ltda. 297 p.
- Philippe D. 1984 Edafología Edafogénesis y Clasificación. 1ra Edición Barcelona España, Masson, S.A p 179 al 187.
- Piñeiro Valdivia Ibett P., Evaluación de la erosión hídrica en la Localidad de Carmen Pampa (Prov. Nor Yungas Dpto. La Paz). Tesis de grado 2000 Pág. 84.
- Porta C. J. et al 1999 Edafología Para la Agricultura y el medio Ambiente. 2da. Ed. Impreso en España Ediciones Mundi – Prensa 655 p.
- Quelca Quelca, Maximo, Evaluación de la erosión de suelos por la extracción de la thola (*Parastrephia quadrangularis*), en la localidad de Calacoto Provincia Pacajes Departamento de La Paz. Tesis de Grado 1998 56 p.
- Reyes, S. et al 1988 Fundamentos de Agro climatología. Primera reimpresión Playa, Ciudad de la Habana Editorial Pueblo y Educación p 93.
- Rodríguez, J. 2000. Plantas herbáceas, semileñosas y leñosas usos y beneficios. La Paz - Bolivia UNIR UMSA p. 10 y 11.
- Stallings J. H. 1962, EL SUELO Su uso y mejoramiento. Traducido por Celedonio Sevillano 1ra Ed. en Español México Editorial Continental, S.A p. 147 al 153.
- Terrazas Anzoleaga R. E. 1992 Estimación de la Erosión Hídrica en las Tierras de Aiquile bajo diferentes Sistemas de Manejo. Tesis Cochabamba U.M.S.S Facultad de Ciencias Agrícolas y Pecuarias “Martín Cárdenas” p 72 - 75.

- Tito Villca, L. 1996. Manejo y Conservación de suelos. Texto de Consulta. In La Paz U.M.S.A 103 p.

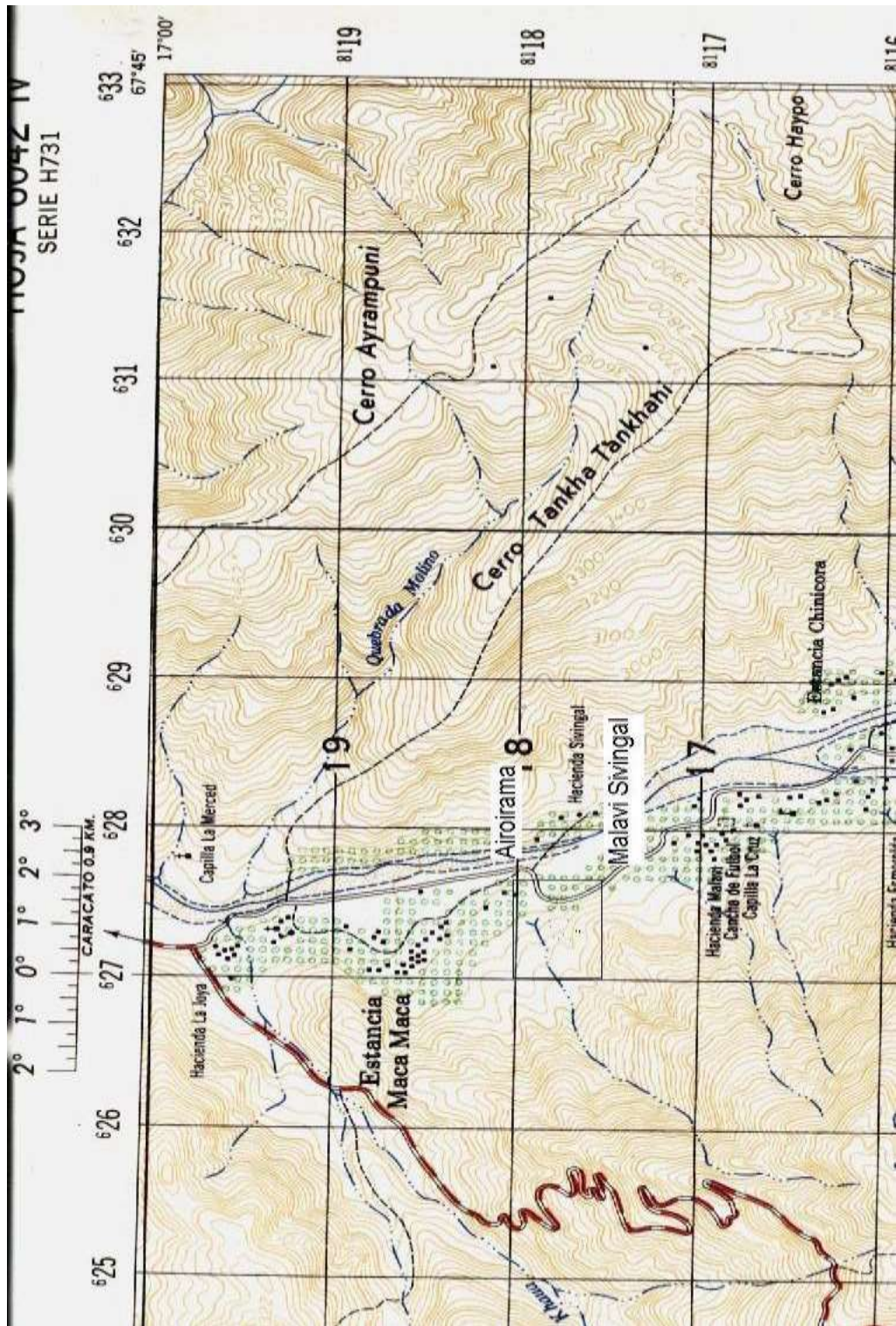
- Torrico, Gualberto. 1997. Estudio sobre los Árboles y Arbustos nativos de uso múltiple en los Departamentos de Cochabamba y Chuquisaca (Valles Secos Interandinos). La Paz – Bolivia. PROBONA.

- Urbano Terrón, P. 1997 Erosión y Conservación del Suelo. Madrid España Ediciones Mundi Prensa 343 p.

- UMSS Facultad de Ciencias Agrícolas y Pecuarias “Martín Cárdenas” 1990 Evaluación de la Erosión Hídrica en Cultivos Tradicionales en la Comunidad de Chuñawi (Provincia Ayopaya). Revista de Agricultura No. 17 p 12, 22

ANEXOS

Anexo 1. Ubicación geográfica Esc. 1: 50.000



Anexo 2

Vegetación de la zona



Anexo 3

Muestreo de suelo en forma de zigzag



Mezcla y cuarteo de la muestra de suelo



Anexo 4

Parcelas asociadas con cobertura vegetal

Asociación de molle-cañahueca-atrípex rastrera



Asociación de atrípex erecto-atrípex rastrera-tuna



Anexo 5

Asociación de atriplex rastreira-tuna-algarrobo-senecio



Delimitación del área



Anexo 6

Instalación de colectores basales



Colocado de láminas metálicas



Anexo 7

Colocado de cubetas colectoras



Cubetas llenas con agua de escurrimiento



Anexo 8

Medición del agua escurrida y recolección de sedimentos



Registro de la precipitación



Anexo 9

Medición de altura del algarrobo



Material de laboratorio



Anexo 10

Baseado y pesaje de muestras de suelo húmedo



Uso de mufla para el secado de muestras



Anexo 11



MINISTERIO DE DESARROLLO SOSTENIBLE
SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA
DIRECCIÓN REGIONAL LA PAZ
Calle Ballivián No 1323 1º Piso - Casilla 10993 - Teléfono / Fax 591 - 2 - 2200433
Web site: www.senamhi.gov.bo
La Paz - Bolivia

La Paz, 01 de Julio de 2004

Señor:
Wilson Camacho
FACULTAD DE AGRONOMIA
Presente.-

Ref.: Datos de precipitación (mm) mensual de la Estación Luribay.

De mi consideración:

Le hago llegar los datos de precipitación (mm) mensual según petición, con la siguiente relación.

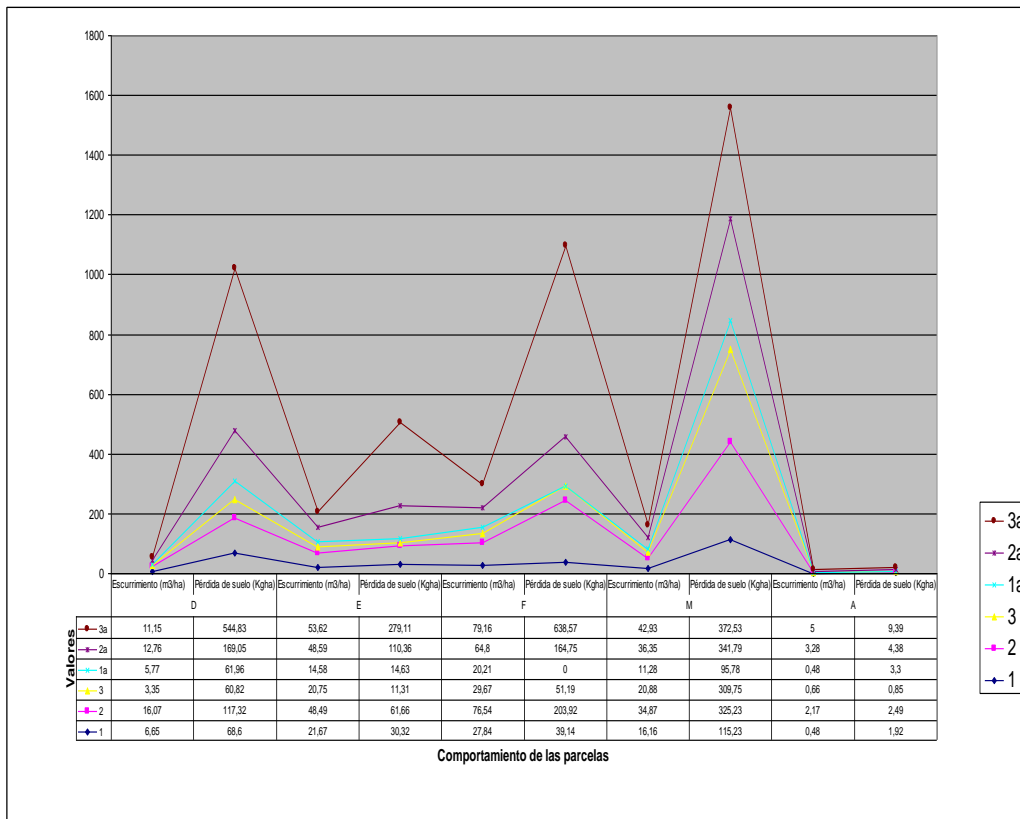
Estación Luribay

Mes Año	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1992	100,0	41,0	10,8	0,6	0,0	9,8	4,1	22,7	0,5	21,6	60,7	50,6
1993	107,5	8,9	47,4	3,4	1,0	1,7	0,0	26,8	12,5	32,8	11,2	62,1
1994	60,1	61,7	16,4	27,6	2,6	2,3	0,0	0,0	11,1	8,3	5,2	41,1
1995	69,1	35,1	35,6	7,2	0,7	0,0	1,2	10,6	10,2	0,0	5,6	85,4
1996	75,9	9,4	9,5	18,9	3,5	2,1	8,4	7,6	10,2	4,6	62,8	74,1
1997	101,0	56,7	90,4	11,3	8,8	0,0	0,0	5,0	33,1	10,8	4,8	21,4
1998	32,3	23,8	42,2	12,7	0,0	21,7	0,0	9,7	5,6	34,9	35,4	0,0
1999	57,9	70,6	127,0	2,8	0,0	0,0	7,6	0,0	38,2	7,3	8,8	42,0
2000	137,5	53,9	65,8	0,0	1,2	9,9	0,0	17,0	0,0	47,1	0,0	87,9
2001	108,6	50,8	33,4	6,0	1,0	3,9	8,5	33,8	8,8	27,3	15,2	28,8
2002	22,6	33,2	39,9	9,5	7,6	0,8	30,6	5,6	11,0	23,2	13,3	56,1
2003	54,5	66,6	18,7	12,1	0,0	0,0	0,0	5,3	13,4	3,8	7,4	66,7

Atentamente.

Anexo 12

Meses		1	2	3	1a	2a	3a
D	Escurrimiento (m3/ha)	6,65	16,07	3,35	5,77	12,76	11,15
	Pérdida de suelo (Kgha)	68,6	117,32	60,82	61,96	169,05	544,83
E	Escurrimiento (m3/ha)	21,67	48,49	20,75	14,58	48,59	53,62
	Pérdida de suelo (Kgha)	30,32	61,66	11,31	14,63	110,36	279,11
F	Escurrimiento (m3/ha)	27,84	76,54	29,67	20,21	64,8	79,16
	Pérdida de suelo (Kgha)	39,14	203,92	51,19	83,03	164,75	638,57
M	Escurrimiento (m3/ha)	16,16	34,87	20,88	11,28	36,35	42,93
	Pérdida de suelo (Kgha)	115,23	325,23	309,75	95,78	341,79	372,53
A	Escurrimiento (m3/ha)	0,48	2,17	0,66	0,48	3,28	5
	Pérdida de suelo (Kgha)	1,92	2,49	0,85	3,3	4,38	9,39



Anexo 13 Correlación de las variables pérdida de suelo vs. precipitación, escurrimiento e intensidad

Parcela 1

Variables	Pérdida de suelo	Precipitación	Escurrimiento	Intensidad
Pérdida de suelo	1			
Precipitación	0,461(**)	1		
Escurrimiento	0,609(**)	0,940(**)	1	
Intensidad	-0,216	0,382(*)	0,246	1

Parcela 2

Variables	Pérdida de suelo	Precipitación	Escurrimiento	Intensidad
Pérdida de suelo	1			
Precipitación	0,665(**)	1		
Escurrimiento	0,714(**)	0,944(**)	1	
Intensidad	-0,067	0,382(*)	0,371(*)	1

Parcela 3

Variables	Pérdida de suelo	Precipitación	Escurrimiento	Intensidad
Perdida de suelo	1			
Precipitación	0,277(**)	1		
Escurrimiento	0,633(**)	0,866(**)	1	
Intensidad	-0,225	0,382(*)	0,181	1

Parcela 1a

Variables	Pérdida de suelo	Precipitación	Escurrimiento	Intensidad
Perdida de suelo	1			
Precipitación	0,570(**)	1		
Escurrimiento	0,759(**)	0,934(**)	1	
Intensidad	-0,199	0,382(*)	0,219	1

Parcela 2a

Variables	Pérdida de suelo	Precipitación	Escurrimiento	Intensidad
Perdida de suelo	1			
Precipitación	0,615(**)	1		
Escurrimiento	0,674(**)	0,970(**)	1	
Intensidad	-0,018	0,382(*)	0,332	1

Parcela 3a

Variables	Pérdida de suelo	Precipitación	Escurrimiento	Intensidad
Pérdida de suelo	1			
Precipitación	0,693(**)	1		
Escurrimiento	0,624(**)	0,956(**)	1	
Intensidad	-0,106	0,382(*)	0,359(*)	1

** La correlación es altamente significativa al nivel 0,01 (bilateral).

* La correlación es significativa al nivel 0,05 (bilateral).

Anexo 14

Parcela 1

$$Y = 35,416 - 8,785 x_1 + 9,705 x_2 - 5,749 x_3$$

$\epsilon=17,793$ $\epsilon=6,451$ $\epsilon=3,187$ $\epsilon=2,854$

Parcela 2

El análisis de regresión lineal múltiple para la parcela 2 esta dada por la formula:

$$Y = 26,789 + 1,266 x_1 + 8,542 x_2 - 20,492 x_3$$

$\epsilon=42,965$ $\epsilon=14,594$ $\epsilon=3,542$ $\epsilon=6,528$

Parcela 3

El análisis de regresión lineal múltiple para la parcela 3 esta dada por la formula:

$$Y = 8,289 + 6,400 x_1 + 0,119 x_2 - 5,305 x_3$$

$\epsilon=10,260$ $\epsilon=2,672$ $\epsilon=1,103$ $\epsilon=1,706$

Parcela 1a

El análisis de regresión lineal múltiple para la parcela 1a esta dada por la formula:

$$Y = 20,791 - 9,923 x_1 + 16,421 x_2 - 4,062 x_3$$

$\epsilon=10,154$ $\epsilon=3,889$ $\epsilon=3,023$ $\epsilon=1,789$

Parcela 2a

El análisis de regresión lineal múltiple para la parcela 2a esta dada por la formula:

$$Y = 79,047 - 13,357 x_1 + 8,349 x_2 - 10,545 x_3$$

$\epsilon=49,673$ $\epsilon=18,753$ $\epsilon=3,957$ $\epsilon=6,120$

Parcela 3a

El análisis de regresión lineal múltiple para la parcela 3a esta dada por la formula:

$$Y = - 43,971 + 118,642 x_1 + 8,340 x_2 - 49,544 x_3$$

$\epsilon=100,507$ $\epsilon=33,949$ $\epsilon=6,507$ $\epsilon=13,454$