

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



**TESIS DE GRADO**

**EVALUACIÓN DE ESPECIES FORESTALES EN LA FORMACIÓN DE  
BARRERAS VIVAS Y COMPORTAMIENTO DE LA EROSIÓN  
HÍDRICA, EN EL CANTÓN COHONI**

**Mario Agapito Goitia Ricalde**

**La Paz - Bolivia**

**2008**

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

**EVALUACIÓN DE ESPECIES FORESTALES EN LA FORMACIÓN DE  
BARRERAS VIVAS Y COMPORTAMIENTO DE LA EROSIÓN  
HÍDRICA, EN EL CANTÓN COHONI**

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

**Mario Agapito Goitia Ricalde**

**Asesores:**

Dr. Vladimir Orsag Céspedes .....

Ing. Roberto Miranda Casas .....

**Tribunal Examinador:**

Ing. Ph. D. Rene Chipana .....

Ing. Ramiro Mendoza Nogales .....

Ing. M. Sc. Ángel Pastrana Albis .....

**APROBADA**

**Presidente Tribunal Examinador**

.....

## *Dedicatoria*

*El mayor agradecimiento en umbral a Dios, mis padres Juan y Donata, muy especial a mi esposa Norka y mi hija Mariana Micaela por el apoyo persistente, comprensión y tolerancia para la culminación del presente estudio.*

*Gracias*

*Mario*

## *Agradecimientos*

- A la Facultad de Agronomía por permitir realizar mi formación profesional y a los docentes por las enseñanzas impartidas.
- Mi sincero agradecimiento a mis asesores Dr. Vladimir Orsag Céspedes e Ing. Roberto Miranda Casas, por su asistencia y orientaciones de manera acertada en el desarrollo y culminación del presente trabajo.
- Al tribunal revisor conformado por el Ing. Ph. D. René Chipana, Ing. Ramiro Mendoza e Ing. M. Sc Ángel Pastrana, por su paciencia y consejos realizados de forma acertada al estudio.
- A la comunidad de Luquicachi, en especial a la familia Atahuachi, por la colaboración brindada durante la implementación y desarrollo del estudio.
- En particular al Ing. Oscar Calderón por sus consejos y apoyo incondicional, para la culminación de la presente investigación.

*Gracias*

*Mario A. Goitia R.*

## ÍNDICE GENERAL

---

	Pág.
<b>DEDICATORIA</b> .....	i
<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	ii
<b>ÍNDICE GENERAL</b> .....	iii
<b>ÍNDICE DE CUADROS</b> .....	vi
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	vii
<b>ÍNDICE DE IMÁGENES</b> .....	viii
<b>ÍNDICE DE ANEXOS</b> .....	ix
<b>RESUMEN</b> .....	x
<b>ABSTRACT</b> .....	xii
<b>CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN</b>	
<b>1.1 INTRODUCCIÓN</b> .....	1
<b>1.2 OBJETIVOS</b> .....	3
Objetivo General .....	3
Objetivos Específicos .....	3
<b>CAPÍTULO II REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA</b>	
<b>2.1 EROSIÓN DEL SUELO</b> .....	4
<b>2.2 CLASES DE EROSIÓN</b> .....	5
2.2.1 Erosión Geológica .....	5
2.2.2 Erosión Inducida o Antropica .....	5
2.2.3 Erosión Eólica .....	6
2.2.4 Erosión Hídrica .....	6
<b>2.3 FORMAS DE EROSIÓN HÍDRICA</b> .....	6
2.3.1 Erosión Laminar .....	6
2.3.2 Erosión en Surcos .....	7
2.3.3 Erosión en Cárcavas .....	7
<b>2.4 MECÁNICA DE LA EROSIÓN HÍDRICA</b> .....	7
2.4.1 Dispersión .....	7
2.4.2 Transporte .....	8

	<b>Pág.</b>
<b>2.5 FACTORES QUE CONDUCEN A LA EROSIÓN HÍDRICA</b> .....	8
2.5.1 Precipitación .....	8
2.5.2 Pendiente .....	9
2.5.3 Suelo .....	12
2.5.4 Topografía .....	14
2.5.5 Temperatura .....	14
2.5.6 Viento .....	15
2.5.7 Evapotranspiración .....	15
2.5.8 Vegetación .....	15
2.5.9 Raíces .....	17
2.5.10 Actividad Agrícola .....	17
<b>2.6 EFECTOS DE LA EROSIÓN HÍDRICA</b> .....	18
2.6.1 Degradación del Suelo .....	18
2.6.2 Pérdida de Nutrientes .....	18
2.6.3 Propiedades Físicas del Suelo .....	19
2.6.4 Esguerrimiento Superficial .....	19
2.6.5 Sedimentación y Cambio en los Recursos Hídricos .....	19
2.6.6 Rendimiento de Cultivos .....	20
<b>2.7 MÉTODOS PARA CUANTIFICAR LA PÉRDIDA DE SUELO</b> .....	20
2.7.1 Cuantificación Directa .....	20
2.7.2 Cuantificación Indirecta .....	22
<b>2.8 GRADOS DE EROSIÓN</b> .....	23
2.8.1 Límites Permisibles de Erosión .....	25
<b>2.9 PRÁCTICAS AGROFORESTALES</b> .....	26
2.9.1 Agroforestería .....	26
2.9.2 Barreras Vivas .....	27
2.9.3 Especies Forestales .....	31

### **CAPÍTULO III LOCALIZACIÓN**

<b>3.1 UBICACIÓN</b> .....	35
3.1.1 Caracterización Ecológica .....	35
3.1.2 Fisiografía .....	37
3.1.3 Suelos .....	38
3.1.4 Uso de la Tierra .....	38
3.1.5 Vegetación .....	39

**CAPÍTULO IV MATERIALES Y MÉTODOS**

<b>4.1</b>	<b>MATERIALES</b> .....	41
4.1.1	Materiales de Campo .....	41
4.1.2	Material Vegetal .....	41
<b>4.2</b>	<b>METODOLOGÍA</b> .....	41
4.2.1	Área de Estudio .....	41
4.2.2	Diseño del Ensayo .....	42
4.2.3	Implementación de Barreras Vivas .....	43
4.2.4	Vegetación Natural .....	44
4.2.5	Erosión .....	44
4.2.6	Variables de Respuesta .....	45
4.2.6.1	Clima .....	45
4.2.6.2	Suelo .....	45
4.2.6.3	Barreras Vivas .....	46
4.2.6.4	Vegetación Natural .....	48
4.2.6.5	Erosión .....	48

**CAPÍTULO V RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

<b>5.1</b>	<b>CLIMA</b> .....	50
5.1.1	Precipitación .....	50
5.1.2	Temperatura .....	52
<b>5.2</b>	<b>SUELO</b> .....	53
5.2.1	Características Físicas .....	53
5.2.2	Características Químicas .....	55
<b>5.3</b>	<b>BARRERAS VIVAS</b> .....	59
5.3.1	Porcentaje de Prendimiento .....	59
5.3.2	Altura de Planta .....	60
5.3.3	Cobertura de las Barreras Vivas .....	64
5.3.4	Cobertura de la Vegetación Natural .....	68
<b>5.4</b>	<b>ESTIMACIÓN DEL GRADO DE EROSIÓN</b> .....	70

<b>CAPÍTULO VI</b>	<b>CONCLUSIONES</b> .....	74
--------------------	---------------------------	----

<b>CAPÍTULO VII</b>	<b>RECOMENDACIONES</b> .....	77
---------------------	------------------------------	----

<b>CAPÍTULO VIII</b>	<b>LITERATURA CITADA</b> .....	78
----------------------	--------------------------------	----

**ÍNDICE DE CUADROS**

---

	<b>Pág.</b>
<b>Cuadro 1</b> Porcentaje de Cobertura Vegetal . . . . .	16
<b>Cuadro 2</b> Clasificación del Grado de Erosión del Suelo . . . . .	24
<b>Cuadro 3</b> Grados, Tasas Categorías de Erosión . . . . .	25
<b>Cuadro 4</b> Grado de Erosión de Suelos . . . . .	25
<b>Cuadro 5</b> Distancia entre Barreras Vivas en Función de la Pendiente . . . . .	29
<b>Cuadro 6</b> Especies Recomendadas para la Conformación de Barreras Vivas . . . . .	31
<b>Cuadro 7</b> Especies Arbóreas . . . . .	39
<b>Cuadro 8</b> Especies Arbustivas y Matas . . . . .	40
<b>Cuadro 9</b> Frecuencia de Precipitación . . . . .	51
<b>Cuadro 10</b> Ecuaciones de Regresión para el Cálculo de la Temperatura en °C . . . . .	53
<b>Cuadro 11</b> Propiedades Físicas y Químicas del Suelo . . . . .	55
<b>Cuadro 12</b> Correlación de Parámetros para el Establecimiento de Tres Especies Forestales Agave, Tuna y Retama . . . . .	58
<b>Cuadro 13</b> Pérdida de Suelo Promedio por Erosión Hídrica . . . . .	71
<b>Cuadro 14</b> Análisis de Varianza - Erosión Hídrica. . . . .	73

## ÍNDICE DE FIGURAS

---

		<b>Pág.</b>
<b>Figura 1</b>	Mapa de Ubicación del Área de Estudio .....	36
<b>Figura 2</b>	Distribución de Parcelas .....	43
<b>Figura 3</b>	Precipitación Mensual 2006 - 2007 .....	50
<b>Figura 4</b>	Precipitación Mensual y Número de Lluvias Erosivas .....	52
<b>Figura 5</b>	Porcentaje de Prendimiento de Tres Especies Forestales	59
<b>Figura 6</b>	Incremento Promedio de Altura (cm) en Barreras Vivas de Agave .....	61
<b>Figura 7</b>	Regresión Simple Altura de Agave vs. Precipitación .....	62
<b>Figura 8</b>	Incremento de Altura Promedio (cm) en Barreras Vivas de Tuna .....	63
<b>Figura 9</b>	Regresión Simple Altura de Tuna vs. Precipitación .....	64
<b>Figura 10</b>	Cobertura Vegetal (%) de Agave en Barreras Vivas .....	65
<b>Figura 11</b>	Regresión Simple Cobertura de Agave vs. Altura .....	66
<b>Figura 12</b>	Cobertura Vegetal (%) de Tuna en Barreras Vivas .....	67
<b>Figura 13</b>	Regresión Simple Cobertura de Tuna vs. Altura .....	67
<b>Figura 14</b>	Cobertura Natural Promedio de Especies Naturales en Tres Tratamientos .....	68
<b>Figura 15</b>	Regresión Simple Cobertura de Especies Naturales vs. Precipitación en Tres Tratamientos .....	69
<b>Figura 16</b>	Suelo Erosionado Promedio (cm) Mensual en Tres Tratamientos .....	70

**ÍNDICE DE IMÁGENES**

---

	<b>Pág.</b>
<b>Imagen 1</b> Fisiografía del Área de Estudio .....	37
<b>Imagen 2</b> Parcelas de Producción Agrícola .....	39
<b>Imagen 3</b> Disposición de Varillas Metálicas .....	44
<b>Imagen 4</b> Terrazas de Formación Lenta con Agave .....	46

## ÍNDICE DE ANEXOS

---

- ANEXO 1** Precipitación Pluvial
- ANEXO 2** Propiedades Físicas y Químicas del Suelo
- ANEXO 3** Barreras vivas
- ANEXO 4** Vegetación Natural
- ANEXO 5** Pérdida de Lámina de Suelo
- ANEXO 6** Prueba de Significancia
- ANEXO 7** Fotográfico

## RESUMEN

---

La presente investigación “ **Evaluación de Especies Forestales en la Formación de Barreras Vivas y Comportamiento de la Erosión Hídrica, en el Cantón Cohoni** “, tiene como objetivo determinar la capacidad de tres especies forestales agave, tuna y retama en la implantación como barreras vivas en terrenos donde la topografía presenta pendientes moderadas a escarpadas, como es el caso del cantón Cohoni, y con el transcurrir del tiempo puedan establecerse como barreras vegetales y contribuir a mitigar la erosión hídrica del suelo cual es provocada por efecto de las precipitaciones pluviales.

Así mismo el punto de partida en principio es otorgar alternativas de protección contra la erosión hídrica, y apoyar en la solución a dicha problemática mediante la difusión de prácticas agroforestales, de tal manera las repercusiones negativas en la producción agrícola con el tiempo disminuya por efecto de la pérdida de la capa arable del suelo y con el los nutrientes.

Respecto a las características climáticas, principalmente la precipitación registro 539.5mm/año, lo cual favoreció para su implementación de dichas especies, los mismos reportaron altos porcentajes de prendimiento en la cual destaca el agave y tuna con 99 y 95% respectivamente frente a la retama 80%.

Precisar que la Retama no cumplió los objetivos del estudio por que esta especie fue consumida en porcentajes mayores por un mamífero que existe en la zona la Viscacha.

Las características físico-químicas del suelo donde se implemento el ensayo; pH neutro a débilmente alcalino, materia orgánica, nitrógeno, capacidad de intercambio catiónico reportan niveles bajos a moderados; textura franco arcilloso, profundidad efectiva de 40cm entre otros, los cuales favorecieron su implantación.

En cuanto a la altura que reportaron ambas especies en el transcurso del estudio, la tuna alcanzó mayor altura 42.2cm respecto al agave 30.1cm en promedio, así mismo 38.9% y 49.8% respectivamente, la altura de planta tiene dependencia de la precipitación, en tanto que 61.1 y 70% se atribuye a características propias de ambas especies.

La cobertura vegetal de dichas especies en la formación de barreras vivas permite considerar al agave como promisorio 47.6% de cobertura respecto a la tuna con 30.8%. La correlación cobertura - altura, la mayor cobertura (agave) son dependientes de la altura de planta en 53.5% y 73% es atribuible a la estructura de la planta, contrariamente en el caso de la tuna registra mayores porcentajes 96.7% y 98% respectivamente.

En tal sentido el agave, puede implementarse en prácticas de manejo y conservación de suelos contra la erosión hídrica, en espacios donde el porcentaje de pendiente pueda ser menor a los obtenidos en el presente estudio 31% y acompañado con obras civiles.

La cobertura de las especies emergidas Chiriri y Thunu en los tres tratamientos, presentaron diferente comportamiento, así el menor porcentaje registrado por ambas especies fue en la parcela testigo con 19.8% y mayor promedio de suelo perdido 1.40cm, respecto a mayores porcentajes 21.4% (agave) y 22.6% (tuna), donde la cantidad de suelo erosionado fueron menores 1.17 y 1.28cm respectivamente.

Por último, el nivel de erosión del suelo registrado, se encuentran en niveles superiores (5.54Tn/ha/año - 6.65Tn/ha/año) respecto al límite permisible para suelos destinados a la producción agrícola que es 1.8Tn/ha/año y 0.4Tn/ha/año en áreas sin cultivo (Torrez, 1981). Los valores de erosión obtenidos corresponden menor a 10Tn/ha/año, por ello corresponden al grado 2 - categoría ligera según (MDSMA, 1996), y grado nula o ligera (FAO, 1980).

## ABSTRACT

---

The present investigation Evaluation of Forest Species in the Formation of Alive Barriers and Behavior of the Erosion Hídrica, in the Canton Cohoni ", she has as objective to determine the capacity of three species forest agave, tuna and broom in the installation like alive barriers in lands where the topography presents moderate slopes to sharp, like it is the case of the canton Cohoni, and with lapsing of the time they can settle down as vegetable barriers and to contribute to mitigate the erosion hídrica of the floor which is provoked by effect of the pluvial precipitations.

Likewise the starting point in principle is to grant alternative of protection against the erosion hídrica, and to support in the solution to this problem by means of the diffusion of practical agroforestales, in such a way the negative repercussions in the agricultural production with the time diminish for effect of the loss of the arable layer of the floor and with the nutrients.

Regarding the climatic characteristics, mainly the precipitation registration 539.5mm/year, that which favoured for their implementation of this species, the same ones reported high prendimiento percentages in which highlights the agave and tuna respectively with 99 and 95% in front of the Broom80%.

To specify that the Broom didn't complete the objectives of the study for that this species was consumed in more percentages by a mammal that Viscacha exists in the area.

The physical-chemical characteristics of the floor where you implements the test; neuter pH to weakly alkaline, organic matter, nitrogen, capacity of exchange cationic reports low levels to moderate; texture loamy franc, effective depth of 40cm among other, which favoured its installation.

As for the height that you/they reported both species in the course of the study, the tuna reaches bigger height 42.2cm regarding the agave 30.1cm on the average, likewise 38.9% and 49.8% respectively, the plant height has dependence of the precipitation, as long as 61.1 and 70% are attributed to characteristic of both species.

The vegetable covering of this species in the formation of alive barriers allows to consider to the agave like promissory 47.6 covering% regarding the tuna with 30.8%. The correlation covering - height, the biggest covering (agave) is dependent of the plant height in 53.5% and 73% it is attributable to the structure of the plant, contrarily in the case of the tuna it registers bigger percentages 96.7% and 98% respectively.

In such a sense the agave, it can be implemented in practical of handling and conservation of floors against the erosion hídrica, in spaces where the slope percentage can be smaller to those obtained study 31% presently and accompanied with civil works.

The covering of the emerged species Chiriri and Thunu in the three treatments, presented different behaviour, the smallest percentage registered by both species was this way in the parcel witness with 19.8% and bigger average of lost floor 1.40cm, regarding bigger percentages 21.4% and (agave) 22.6%, (tuna) where the quantity of floor erosionado was smaller 1.17 and 1.28cm respectively.

Lastly, the level of erosion of the registered floor, they are in levels superiors (5.54Tn/ha/year - 6.65Tn/ha/year) regarding the permissible limit for floors dedicated to the agricultural production that is 1.8Tn/ha/year and 0.4Tn/ha/year in areas without cultivation (Torrez, 1981). The obtained erosion values correspond smaller at 10Tn/ha/year, hence they correspond to the grade 2 - slight category according to (MDSMA, 1996), and null or slight (FAO, 1980) grade.

# CAPÍTULO I

# INTRODUCCIÓN

## 1.1 INTRODUCCIÓN

Los agentes naturales como el viento, la lluvia y los cambios de temperatura erosionan continuamente la superficie de la tierra, en ese sentido se considera un problema que afecta a la producción agrícola, los mismos pueden ser severamente minimizados por la erosión y, por consiguiente amenazar la sostenibilidad de la agricultura en suelos de ladera principalmente.

Uno de los factores que afecta a la producción agrícola en este ambiente ecológico en nuestro país, es la erosión del suelo producido por efecto del agua o el viento, y con ello la pérdida de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, reflejándose primero en bajos rendimientos de los cultivos y segundo reduciendo las áreas destinadas a la producción.

Con el transcurrir de los años, millones de hectáreas de terrenos agrícolas se tornan improductivas debido a la erosión. La degradación de tierras está muy difundida en regiones secas del mundo. La mayoría de terrenos no utilizados poseen un potencial agrícola reducido, determinado por la deficiencia en cuanto a la fertilidad, escasa precipitación, y otras. La producción agrícola en estas condiciones esta asociado a una degradación ambiental, principalmente a una degradación de suelos.

De acuerdo a la FAO (1988), los terrenos agrícolas disminuyen su potencial de producción o aptitud de uso, debido a varios tipos de degradación del suelo, como ser la erosión y sedimentación, las sales, plaguicidas y fertilizantes.

Estudios efectuados por el MDSMA (1996), revelan que cerca del 45% del territorio nacional, la cual comprende zonas áridas, semiáridas y subhúmedas se encuentran afectadas por diferentes grados de erosión.

La importancia que tiene la erosión para la población del país que habita en áreas de montaña, el recurso suelo representa uno de los elementos más frágiles y dinámicos, y una forma de mitigar la erosión y manejo de cuencas, es mediante la difusión e implementación de la Agroforestería y reducción del pastoreo (Grover, 1974).

Así, muchas tierras agrícolas son abandonadas resultado de la pérdida de la fertilidad del suelo, producción intensiva, cultivos en pendientes, terrenos no aptos, a todo ello se suma la exposición de suelos disturbados a la acción de la lluvia o el viento; en el primer caso las primeras lluvias ocasionan procesos erosivos, que con el tiempo reflejará un efecto irreversible como es la pérdida total de la capa arable del suelo, razón por la cual el agricultor (pequeño) se ve en la necesidad de buscar otras tierras para producir.

Así mismo en zonas de bosques tropicales, como en el sector de los Yungas, el agricultor habilita áreas para la producción agrícola mediante la técnica de la tala de árboles y quema de la vegetación, aspecto que repercute de manera negativa en las características físico-químico de los suelos y se constituyen propensos a una mayor degradación, en principio la disminución de nutrientes, posteriormente una alteración estructural del suelo, erosión y reducción en la capacidad de retención de agua, aspectos que condicionan para que dichos suelos sean improductivos con el tiempo.

La diversidad de suelos que existe en nuestro país, reflejan una variación en cuanto a fertilidad, capacidad de almacenar agua, profundidad efectiva entre otras; sin embargo el proceso de degradación de los suelos resulta por uso inapropiado, el sobrepastoreo, la falta de prácticas agroforestales, escasa cobertura vegetal y la erosión, este último se constituye el más crítico para la producción agrícola en terrenos de pendiente.

En ese sentido para mitigar la erosión del suelo en terrenos con pendiente, existe una variedad de prácticas de conservación de suelos que se utilizan, entre las cuales existen las terrazas o taqanas, terrazas de formación lenta, zanjas de infiltración,

surcos en contorno, barreras vivas empleando especies forestales o combinado con obras mecánicas, y otras; de tal manera se preserve el recurso suelo minimizando los impactos ambientales resultado de la actividad antrópica.

Así en el presente estudio, el principal agente erosivo percibido en el sector es el agua, en razón que el área presenta una topografía accidentada con pendientes que oscilan entre moderadas, moderadamente escarpadas a escarpadas como es el caso del cantón Cohoni.

## **1.2 OBJETIVOS**

### **Objetivo General**

Evaluar el Maguey, la Retama y la Tuna en la implantación de barreras vivas y determinar el comportamiento de la erosión hídrica en el cantón Cohoni.

### **Objetivos Específicos**

- ✓ Caracterizar las condiciones del clima y del suelo para la implantación de las especies forestales en el área.
- ✓ Evaluar el comportamiento del Maguey, Retama y Tuna en el establecimiento de barreras vivas.
- ✓ Evaluar la cobertura de la vegetación natural
- ✓ Cuantificar el grado de erosión hídrica en el área de estudio.

## CAPÍTULO II

## REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 EROSIÓN DEL SUELO

Para Fournier (1975), la erosión es el desgaste de la superficie terrestre bajo la acción de agentes erosivos, principalmente por el viento o el agua, este último cuando cae y arrastra elementos terrosos y partículas de suelo a distancias considerables, donde la erosión acelerada por el agua es consecuencia en la mayoría de las situaciones resultado de la actividad antrópica.

En tanto la FAO (1978), al respecto manifiesta que la erosión producida por el agua de lluvia puede arrastrar tierra cultivable, tal situación se advierte en suelos ubicados en pendiente, por tanto el agua corre con mayor rapidez y da lugar a zanjas más profundas, lo cual produce cuando llueve con fuerza.

Baver *et al*, (1980), señala que la erosión causada por el agua se debe a la acción dispersiva y al poder de transporte del agua que cae en forma de lluvia, el cual llega a ocasionar escurrimiento, La acción dispersiva y el poder de transporte del agua están determinados por el choque de las gotas de agua de lluvia que caen, la cantidad y velocidad de escurrimiento y la resistencia que ofrece el suelo a la dispersión y al movimiento.

Torrez (1981), puntualiza como la remoción y pérdida del suelo de su lugar de origen, el cual es ocasionado por el agua, viento, temperatura y agentes biológicos.

La erosión causada por la lluvia, se considera la mas importante, y corresponde a la acción dispersiva, el poder de transporte del agua que cae y el escurrimiento superficial que se produce. Si no hubiese escurrimiento superficial no existiera erosión en zonas de baja precipitación.

FAO (1988), indica que la erosión del suelo producida por el agua puede ocurrir en

todo momento en la mayoría de los suelos cuando el agua fluye por la superficie. Las posibilidades de erosión son generalmente máximas mientras la superficie del terreno está desprovista de una cobertura vegetal, lo cual sucede después de la arada, durante la preparación del terreno y después de la siembra. Las plantas de cultivo en desarrollo y residuos luego de una cosecha son especialmente efectivos para contrarrestar la erosión hídrica.

Kirby (1993), define la erosión como la eliminación de partículas inorgánicas del suelo, sin considerar en gran medida, el problema de los materiales nutritivos del suelo, sea por acción del agua o por el viento.

El mismo autor sostiene, que la erosión del suelo provocado por el agua se basa en la fuerza con que el fluido puede actuar sobre las partículas del suelo, dicha fuerza depende en cierto grado de la aspereza de la superficie que presenta.

## **2.2 CLASES DE EROSIÓN**

### **2.2.1 Erosión Geológica**

Torrez (1981), es una erosión natural ocasionada por la acción constante de los diversos fenómenos de intemperismo, constituye un proceso lento que necesita miles de años para producir cambios en la configuración de la superficie terrestre. Los efectos de esta clase de erosión son formadores de suelos a través de un proceso muy lento.

Plaisance, Cailleux (1981) citado por la FAO (1988), establecieron clasificaciones de erosión sobre la base del modo de acción, diferenciando en química, por escorrentía, por desplazamiento masivo, por el viento y biológica.

### **2.2.2 Erosión Inducida o Antrópica**

Torrez (1981), Orsag (2003), mencionan que esta clase de erosión es causada por la

intervención impropia del ser humano en los bosques con talas indiscriminadas; en praderas por el sobrepastoreo y la destrucción de la cubierta vegetal y labores de cultivo intempestivos.

### **2.2.3 Erosión Eólica**

La erosión eólica es el resultado de la acción del viento sobre la superficie del suelo, en la cual intervienen diferentes factores como el clima, suelo y la vegetación. La topografía se considera en un factor de poca importancia en este proceso, pero la longitud de la superficie influye generalmente en el movimiento del suelo (Orsag, 2003).

En general, este tipo de erosión se produce fácilmente en zonas áridas y semiáridas donde confluyen los siguientes factores: suelos secos, áreas planas, vegetación pobre y el periodo de los vientos coincide con la época seca del año (Orsag, 2003).

### **2.2.4 Erosión Hídrica**

La erosión hídrica se debe a la acción del agua sobre la superficie del suelo, la misma comprende la acción de dos agentes: la lluvia y la escorrentía (Orsag, 2003).

## **2.3 FORMAS DE EROSIÓN HÍDRICA**

### **2.3.1 Erosión Laminar**

Es la remoción del suelo en forma de una capa delgada algo uniforme. La cual se inicia en la cabecera de las laderas. A esta forma de erosión casi no se presta atención y se le resta importancia necesaria, y sucede de manera imperceptible para ojos no entrenados; el suelo generalmente pierde su materia orgánica superficial (Orsag, 2003).

### **2.3.2 Erosión en Surcos**

Orsag (2003), manifiesta al respecto, a medida que el agua de escurrimiento superficial desciende por la pendiente se concentra cada vez más en las micro depresiones del terreno, formando pequeños cauces o canales de evacuación de agua. La velocidad que alcanza el agua de escurrimiento en dichos canales, permite la profundización y arrastre de material.

El desprendimiento y arrastre de partículas tiene su origen principalmente en la energía del flujo hídrico y la magnitud de este desprendimiento es proporcional al cuadrado de la velocidad del agua.

### **2.3.3 Erosión en Cárcavas**

Orsag (2003), manifiesta que, la erosión en cárcavas son canales más amplios y profundos, se diferencian de los surcos de erosión, por sus mayores dimensiones, las mismas que no pueden eliminarse con simples prácticas de laboreo.

La formación de las cárcavas, así como de sus dimensiones, son resultado del caudal de escorrentía y de su velocidad, y de las características del suelo y de la pendiente.

## **2.4 MECANICA DE LA EROSIÓN HÍDRICA**

### **2.4.1 Dispersión**

La acción erosiva del agua tiene inicio desde el momento del impacto de las gotas de lluvia sobre el suelo, el cual constituye en el factor causal de la erosión del suelo.

Las gotas de salpicadura llevan en suspensión partículas finas que caen nuevamente al suelo penetrando en los poros y provocando el encostramiento del suelo.

Bisal (1960), manifiesta que, las gotas de agua de lluvia tienen diferentes velocidades de acuerdo a su tamaño y diferentes intensidades. Así un suelo seco absorbe la gota, a medida que caen más gotas éstas golpean la superficie y producen salpicadura, lo cual se observa en la turbiedad de las gotas que salpican.

#### **2.4.2 Transporte**

Luego de producirse la acción de dispersión de las partículas sólidas del suelo, inmediatamente se produce la fase de transporte, presentando diferentes formas como ser erosión laminar, erosión en surcos y erosión en cárcavas producto de las dos primeras (Bisal, 1960).

### **2.5 FACTORES QUE CONDUCEN A LA EROSIÓN HÍDRICA**

La erosión causada por el agua se debe a la acción dispersiva y al poder de transporte de esta, las cuales están determinadas por el choque de las gotas de lluvia, por la cantidad y velocidad del escurrimiento superficial, y la resistencia que ejerce el suelo a la dispersión y al movimiento.

#### **2.5.1 Precipitación**

Soeters (1974), al respecto manifiesta, el factor que se relaciona con la lluvia se denomina Erosividad, cual es la capacidad que tiene una lluvia para producir erosión; se relaciona directamente con la energía cinética de la lluvia. El poder erosivo de las lluvias se origina en el impacto de la gota de agua sobre la superficie y la escorrentía del agua sobre la misma.

El mismo autor, considera a la precipitación la más importante y el grado de influencia que tiene sobre la erosión de los suelos, y se halla en función de sus características, siendo en orden de importancia: cantidad, intensidad, frecuencia y distribución anual. Su principal efecto se observa en un suelo disturbado.

- a. Cantidad, según investigaciones efectuadas por Fournier (1975) llegó a la conclusión que, las relaciones entre cantidad precipitada de lluvia (altura) y erosión del suelo no son sistemáticas.
- b. Intensidad, es la cantidad de agua precipitada en el suelo, por unidad de tiempo, (mm/hora).

Al respecto Roose (1973), manifiesta parcelas cubiertas de vegetación, disipan la energía de las gotas de lluvia antes de llegar a la superficie, pero fuertes intensidades pueden provocar escorrentía por la saturación temporal de la porosidad del suelo.

Chilón (1995), menciona que la erosión causada por las lluvias es explicada en un 95% por la intensidad de las precipitaciones; y la información de este parámetro de las lluvias es muy importante para determinar la erosividad potencial del clima.

El valor, a partir del cual una lluvia se considera erosiva ha sido establecido en 12.7mm en forma independiente del tiempo. Algunos autores fijan entre 30mm y 50mm. Pero para la parte occidental de nuestro país se vio por conveniente utilizar intensidades de lluvia mayores a 12.7mm, debido a que investigaciones realizadas en la zona Andina del Perú demostraron que a partir de dicho valor existe problemas de erosión (Orsag, 2003).

- c. Frecuencia, se refiere al número de veces que llueve en un lapso de tiempo con una determinada intensidad.
- d. Distribución, lluvias de poca duración y muy intensas, son poca efectivas debido a grandes escurrimientos superficiales.

### **2.5.2 Pendiente**

Fournier (1975), y Baver *et al*, (1980), manifiestan que las características de la

pendiente, grado y longitud condicionan la erosión del suelo, por ello se consideran importantes para determinar y evaluar la cantidad de escurrimiento y erosión.

**a. Grado de la Pendiente**

Neal (1938), demostró que la erosión fluctuaba con la potencia 0.7 del porcentaje de la pendiente. El análisis de los datos de erosión efectuados en cinco estaciones Experimentales en el tema de Conservación de Suelos mostró que la erosión variaba según la siguiente ecuación:

$$Xc = 0.65 S^{1.49}$$

Donde

**Xc** = Pérdida total de suelo registrado

**S** = Pendiente del suelo en %

Musgrave (1954), estableció ecuaciones determinadas para predecir la pérdida de suelo se supone que el ángulo de la pendiente es un factor importante para determinar la severidad de la erosión.

Wischmeier y Smith (1965) formularon una ecuación parabólica entre la pendiente y la pérdida de suelo:

$$A = 0.42 + 0.30 + 0.043 S^2$$

Donde

**A** = pérdida del suelo en Tn/acre

**S** = porcentaje de la pendiente (%)

Fournier (1975), indica que la erosión media crece al aumentar la inclinación de la pendiente. Relaciona con la esorrentía, en sentido que la inclinación de la pendiente aumenta la velocidad de la esorrentía, el cual es significativo para provocar un incremento de la erosión del suelo.

Según Baver *et al*, (1980), el grado de la pendiente en general es más importante que la longitud, desde el punto de vista de la gravedad de la erosión. Estudios realizados demostraron que en pendientes menores a 10%, el valor de la erosión se duplicaba a medida que el grado de la pendiente se duplicaba.

Corino (1996), estableció mediante el método de varillas de erosión en pendientes de 30% y 40% para el cultivo del arroz, en la zona de Alto Beni, en la cual determinó la pérdida de suelo con valores de 39.27, 43.84 y 53.44 Tn/ha/campaña y 43.95, 49.86 y 69.97 Tn/ha/campaña.

Estudios realizados por Gutiérrez (1997), respecto a la erosión hídrica y manejo de suelos en cuatro provincias en el departamento de Cochabamba, y cuatro categorías de pendientes 7%, 8.5%, 20% y 34%, encontró valores de erosión máxima de 1.2, 1.89, 8.14 y 15.8 Tn/ha/año, bajo diferentes sistemas de manejo de suelos respectivamente.

## **b. Longitud de la Pendiente**

Zingg (1940), estableció que la pérdida de suelo esta en función de la longitud de la pendiente según la ecuación:

$$X_c = 0.0025 L^{1.53}$$

Donde

**Xc** = Pérdida total registrada.

**L** = Longitud de la pendiente del terreno en pies.

Si la pendiente es más larga, el escurrimiento toma velocidad, energía y se acumula, dando lugar a una erosión en canales.

Musgrave (1954), indica que, la mayor parte de los datos derivan de estudios realizados en parcelas de campo de longitud restringida de menos de 30m y

raramente de 200m; así mismo las pendientes no están relacionadas con la forma de la superficie del suelo en la cual están situadas. Determinó que la intensidad de la lluvia influye directamente en el efecto de la longitud de la pendiente.

Wischmeier y Smith. (1965), aseveran a medida que aumenta la longitud de la pendiente se supone que la erosión es más crítica.

### **2.5.3 Suelo**

Fournier (1975), considera de importancia la naturaleza del suelo, en el sentido que sus características influyen en la esorrentía como en la pérdida de suelo. Así la estructura del suelo, características de estabilidad y cohesión de agregados, determinan la separación entre el agua que escurre y agua que se infiltra, puesto que regulan la porosidad y la velocidad de infiltración, a ello no solo se considera la parte superior del suelo, asimismo es de gran importancia la permeabilidad del subsuelo.

Matthew (1975), menciona, suelos que presentan bajo contenido de materia orgánica, los agregados tienden a ser bastante menos estables, por el contrario suelos que contienen apreciables cantidades de materia orgánica, la estabilidad de la estructura puede modificarse, solo ligeramente en ciertos casos es posible que aumente.

El mismo autor manifiesta que, agregados del suelo superficial que contienen materia orgánica, son más resistentes a las fuerzas destructivas normales que los agregados del subsuelo, la elevada agregación de la capa superficial esta relacionado con un alto contenido de materia orgánica en comparación con las capas del subsuelo.

Baver *et al* (1980), precisa que las propiedades del suelo tienen efecto sobre la erosión causada por el agua, de dos maneras:

- a. La porosidad de la superficie, determinará la rapidez de filtración de la lluvia en el suelo y la permeabilidad del perfil, expresa la intensidad de transmisión

del agua a través del suelo, el cual está relacionado con la porosidad.

- b.** Resistencia a la dispersión de los agregados por efecto de la lluvia, determinado por la cohesión de las partículas primarias.

Estudios realizados por Evans (1984), en Inglaterra, Canadá, India y USA en terrenos arables de texturas arenosas y limosas indica, para que se manifieste la erosión es determinante el tamaño de partículas, advierte que el 87.5% de suelos erosionables contienen entre 9 y 35% de arcilla y el 75% entre 9 y 30% de arcilla.

Kirby y Morgan (1994), al respecto manifiestan que, por lo general suelos erosionables tienen bajo contenido de arcilla, suelos que contienen más de 30 - 35% de arcilla son por lo general coherentes y forman agregados estables de suelos, los cuales se consideran resistentes al impacto de las gotas de lluvia y a la erosión por dispersión, lo cual está relacionado con la distribución de partículas del suelo.

Pacheco (1996), asevera, el comportamiento de los suelos con respecto a la erosión hídrica, depende principalmente de su textura, agregación y estabilidad estructural, su permeabilidad y profundidad. Así en el altiplano cuyas características arcillosas y con presencia de carbonato de calcio, presentan una estructura el cual ofrece resistencia natural a la desagregación y arrastre por el agua de escorrentía.

Las características del suelo como textura, contenido de materia orgánica, la estabilidad de sus agregados, la tasa de infiltración, las características del complejo de cambio y las propiedades mineralógicas de sus arcillas inciden sobre la resistencia del suelo a la erosión. Cuando existe un predominio de partículas de arena y limo, bajos contenidos de materia orgánica entre otras en el suelo, existe mayor susceptibilidad a la erosión (mayor erodabilidad), por que estas partículas no tienen propiedades coloidales y no forman agregados (Orsag, 2003).

#### **2.5.4 Topografía**

Baver *et al*, (1980), respecto a la topografía, señala que la erosión es un problema de tierras con topografía ondulada. Las características esenciales de la topografía implicadas en el escurrimiento y la erosión son el Grado o ángulo y Longitud de la pendiente. La uniformidad de la pendiente se considera importante para un control adecuado o dificultad de la erosión.

Así mismo la FAO (1983), precisa que laderas convexas pierden mas suelo que laderas uniformes, en cambio laderas cóncavas pierden menos suelo. Muchos suelos erosionables obturan los poros superficiales del suelo a medida que son arrastrados cerro abajo por el agua de escorrentía y ello disminuye aún mas la cantidad de agua que el suelo puede absorber, aumenta su velocidad y ocasiona mayor erosión.

Pritchett (1991), manifiesta que puede tener influencia local profunda en el desarrollo del suelo, superando el factor clima. El relieve del suelo afecta al desarrollo sobre todo a través de su influencia sobre la humedad y temperatura del suelo, sobre la lixiviación, erosión y cobertura vegetal.

La tasa de erosión es mayor en la base de una pendiente convexa, que al final de una pendiente uniforme. La tendencia de una pendiente cóncava es menor debido a que los sedimentos son depositados en la base y reducen la erosión de la parte alta (Orsag, 2003).

#### **2.5.5 Temperatura**

Baver *et al*, (1980), aseveran que la temperatura juega un papel significativo en el proceso de evapotranspiración, el cual regula la cantidad de agua del suelo al momento de la precipitación. Las pérdidas de suelo por erosión están correlacionadas con la intensidad de la precipitación sólo cuando la humedad

efectiva del suelo al tiempo de la precipitación se considera como uno de los parámetros.

### **2.5.6 Viento**

Baver *et al*, (1980), manifiestan que el viento afecta al proceso de erosión, en principio por el ángulo y la velocidad de impacto de las gotas de agua de lluvia. También influye en la evapotranspiración y por consiguiente en el contenido de humedad del suelo.

### **2.5.7 Evapotranspiración**

Al respecto Baver *et al*, (1980), sostienen que este factor está determinado por la radiación solar y por el poder evaporativo del aire (humedad del aire y del viento), por ello determina la humedad del suelo entre las lluvias, razón por la cual puede ser considerada como un factor que influye en la erosión.

### **2.5.8 Vegetación**

En cuanto a la vegetación Orsag (2003), manifiesta que la vegetación interviene contra la erosión hídrica del suelo de la siguiente manera:

- La cobertura vegetal intercepta la lluvia y amortigua el impacto de las gotas de agua sobre el suelo y, por consiguiente minimiza la destrucción de los agregados.
- Las raíces de las plantas sujetan las partículas del suelo e incorporan cantidades importantes de materia orgánica favoreciendo la granulación, porosidad y por consiguiente una mejora de la tasa de infiltración, aspectos que están asociadas con el crecimiento vegetativo.

- La cobertura vegetal, al aumentar la rugosidad de la superficie del suelo, ayuda a disminuir la velocidad del agua de escurrimiento y su capacidad de arrastre.

Las plantas favorecen al balance hídrico del suelo, gracias a su transpiración absorben continuamente la humedad del perfil del suelo y por consiguiente este puede almacenar nuevas láminas de agua luego de una lluvia, evitando de esta manera la formación de aguas sobrantes (escurrimiento).

Kirby y Morgan (1984), mencionan que una cubierta vegetal natural, donde las plantas evitan que las salpicaduras de la lluvia o el flujo de agua remuevan las partículas del suelo, suelos cubiertos con vegetación, con frecuencia tienen una mayor estructura y agregados más estables. Respecto a cultivos altos, como el maíz indican que puede ocurrir una mayor erosión que la esperada porque la altura desde la cual caen las grandes gotas coalescentes es suficiente para que se alcancen grandes velocidades terminales, por lo que se produce la erosión laminar y por salpicadura.

El MDSMA (1996), considera la vegetación como un medio de protección contra la erosión hídrica de los suelos y establecen tipos de cobertura vegetal para especies herbáceas, arbustivas y arbóreas, para los cuales determinan la densidad expresada en porcentaje como refleja el siguiente cuadro:

**Cuadro 1 Porcentaje de Cobertura Vegetal**

<b>Categoría</b>	<b>Escala ( % )</b>
A	0 - 25
B	26 – 50
C	51 – 75
D	76 – 100

Fuente: MDSMA (1996)

Pacheco (1996), manifiesta que, la vegetación juega un papel importante de regulación en la erosión del suelo, cuando tiene un crecimiento próximo al suelo y

desarrolla un buen follaje, actúa como una excelente cubierta protectora del suelo contra la acción erosiva de las lluvias, atenuando la escorrentía superficial e impidiendo el arrastre de las partículas finas del suelo, caso contrario si la vegetación es dispersa y tiene escaso desarrollo vegetativo contribuye a crear un micro relieve no uniforme generando mayor fuerza erosiva.

### **2.5.9 Raíces**

Baver *et al*, (1980), manifiestan que las raíces al igual que la materia orgánica contribuyen a una granulación estable y a una mayor porosidad del suelo, así una resistencia a la erosión dependerá de una densa masa de raíces, en ese sentido los diferentes tipos de raíces son efectivos ligadores del suelo.

### **2.5.10 Actividad Agrícola**

Al respecto la FAO (1983), considera otro factor que incide en la erosión del suelo, y esta relacionado con el tipo de cultivo sembrado y la forma de explotación, así tierras en pendiente plantadas con árboles o sembradas con pastos presentan una erosión menos que las sembradas con maíz.

En áreas destinadas a la producción Kirby y Morgan (1984), aseveran que la erosión hídrica disminuye a medida que el cultivo se vuelve más denso, dicha disminución es determinante y crítico cuando las plantas cubren más del 30% de la superficie, así los cereales rara vez cubrirán el 90% de la superficie del terreno.

Según el MDSMA (1996), dicha actividad estará determinado a través de sistemas de roturación inadecuados, uso y manejo no apropiados del suelo, los cuales promueven condiciones favorables para la erosión hídrica, principalmente en tierras ubicadas en zonas de ladera, a ello el sobrepastoreo facilita los procesos de erosión, debido a la extracción o pérdida de la cobertura vegetal.

## **2.6 EFECTOS DE LA EROSIÓN HÍDRICA**

Los efectos de la erosión hídrica se presenta en la naturaleza de diversas maneras: crea distintas formas de terrenos, ocasiona una degradación del suelo, altera las propiedades físico - químicas, escurrimiento superficial, sedimentación y cambio en los recursos hídricos, en el rendimiento de cultivos.

### **2.6.1 Degradación del Suelo**

Fournier (1975), indica que el suelo disminuye de espesor y se produce modificaciones en el horizonte superior del suelo, el más rico en materia orgánica y elementos nutritivos. En principio puede tratarse de una degradación por destrucción de agregados o debilitamiento de la estructura.

Según la FAO (1988), la degradación del suelo se define como la pérdida de la productividad del suelo, cuantitativa y cualitativa, e incide directamente en la baja producción y por consiguiente un bajo nivel de ingresos de los agricultores.

El mismo autor manifiesta que, la erosión hídrica ha inutilizado o está en vías de inutilizar tierras para la producción agrícola, porque enormes cantidades de suelo pueden ser llevados por la erosión en un periodo de corto tiempo. No obstante la erosión laminar y en surcos son más perjudiciales para la producción agrícola.

### **2.6.2 Pérdida de Nutrientes**

La pérdida de nutrientes según la FAO (1980), se manifiesta a través de la erosión en suelos situados en pendiente, su importancia no solo repercute en el rendimiento de cultivos, sino el costo de reemplazarlo para mantener los rendimientos de los mismos.

Pacheco (1996), manifiesta que al perder suelo, también disminuyen los elementos

nutritivos que afectan seriamente la fertilidad de los suelos, los cuales reflejan bajas producciones.

### **2.6.3 Propiedades Físicas del Suelo**

Montaldo (1982), al respecto sostiene que, existe una alteración en las propiedades de textura, temperatura, estratificación y estructura, los cuales determinan la capacidad de absorción y retención de agua.

La explotación de manera intensiva del suelo con cultivos que agotan (monocultivos), traen como consecuencia una degradación de su estructura, el empobrecimiento de materia orgánica y desaparición de la flora bacteriana, lo cual hacen que el suelo se erosione y destruya posteriormente.

### **2.6.4 Escurrimiento Superficial**

Baver *et al*, (1980), manifiestan que, lluvias intensas existe menos tiempo para la infiltración, lo que ocasiona un mayor escurrimiento total y mayor velocidad, causando una destrucción parcial de la estructura de la superficie del suelo, lo cual conduce a un escurrimiento mas rápido y mayor erosión.

### **2.6.5 Sedimentación y Cambio en los Recursos Hídricos**

El volumen de suelo erosionado de una ladera va ha depositarse a poca distancia, a los pies de la pendiente, donde pueden cubrir totalmente los cultivos u ocasionar una reducción de la fertilidad de las tierras bajas. Parte de los suelos erosionados se depositan en los canales de riego o fluyen hacia lagunas y ríos; en el caso de los ríos, sufren una alteración en el transcurrir por su avance. Cuando disminuye la erosión paralelamente refleja una disminución de la sedimentación y contrariamente cuando la erosión es severa, este incrementa los daños provocados por la sedimentación (FAO, 1983).

FAO (1988), indica, los materiales transportados por el agua y la cantidad de ellos depende del volumen, la velocidad de la corriente de agua y de la cantidad erosionada inicialmente.

### **2.6.6 Rendimiento de Cultivos**

FAO (1983), precisa que, lo negativo de la erosión del suelo para el agricultor es que reduce el rendimiento de los cultivos, lo cual se atribuye a la pérdida de nutrientes, siendo arrastrados junto a las partículas del suelo, a ello el subsuelo suele contener menos nutrientes que la capa superior, dando lugar al uso de cantidades mayores de fertilizantes para mantener el rendimiento de los cultivos, de manera que incrementan los costos de producción.

Sheng (1990), manifiesta que los pequeños agricultores probablemente no se preocupan por los daños que el suelo erosionado de sus parcelas pueda causar, pero existe la intranquilidad por la pérdida de producción y los bajos ingresos económicos que perciben, el cual es resultado de la erosión y la degradación del suelo.

## **2.7 MÉTODOS PARA CUANTIFICAR LA PÉRDIDA DE SUELO**

### **2.7.1 Cuantificación Directa**

#### **a. Medición de Pedestales**

Torrez (1981), indica que es uno de los métodos para determinar la erosión, consiste en la medición directa de los pedestales formados naturalmente bajo piedras, troncos, raíces, la altura del pedestal indica el espesor de la capa de suelo disipada por erosión.

## **b. Áreas de Observación**

Es otro método establecido para cuantificar la erosión hídrica en un área determinada, se ubican parcelas de observación de área conocida a lo largo de la pendiente. Son lotes confinados mediante láminas impermeables enterradas al rededor y sobresalen 20cm sobre la superficie del suelo. Torrez (1981)

En la parte inferior de la parcela se instala un colector para captar el material escurrido esperado, luego de cada lluvia para su posterior evaluación del volumen de escurrimiento captado, se filtra y se determina el peso de suelo seco.

## **c. Varillas de Erosión**

Llerena (1986) indica que, las varillas de erosión generalmente son metálicas, así pueden usarse clavos, hierros de construcción, barras angulares, como también estacas de madera. El tamaño de las varillas es de 25cm de largo.

El mismo autor manifiesta que, en caso de emplear un clavo, la cabeza de este se toma como punto de referencia fijo, respecto a la superficie del suelo y los cambios que pueda ocurrir en el perfil, debido a procesos de erosión. Una reducción en la exposición de la varilla implica depósito y un aumento refleja pérdida del suelo.

La obtención del dato final de erosión se realiza conociendo la distancia inicial y final, siendo la diferencia la pérdida de suelo.

La aplicación de este método permitió realizar varios trabajos de investigación durante 30 años; en dichos estudios la cuantificación de suelo erosionado osciló desde fracciones de milímetros a decenas de centímetros, comprendidos en periodos de medición que van de horas (duración de una tormenta) a meses (épocas lluviosas) e incluso años completos.

La disposición de las varillas en el suelo, se realiza en forma agrupada siguiendo las curvas de nivel; en algunos casos se utilizaron parcelas.

Así la efectividad y precisión del método fueron favorablemente evaluadas, comparando mediciones efectuadas usando varillas de erosión con mediciones de sedimentos en suspensión y con el factor de erodabilidad (K) de la Ecuación Universal de Pérdidas de Suelo con otros instrumentos; y con resultados de medición de erosión bajo lluvias simuladas.

Lluvias con precipitación de 300mm/año o más se consideran convenientes para el método de las varillas de erosión (Llerena, 1986).

Orsag (2003), al respecto manifiesta que, el marcaje de estacas, piedras entre otras, permite cuantificar la erosión laminar y en surcos.

## **2.7.2 Cuantificación Indirecta**

### **a. Modelos Matemáticos de Predicción**

Los modelos de predicción matemática, requieren una gama de parámetros naturales de manejo, de laboratorio, con la finalidad de cuantificar y predecir las pérdidas de suelo por efecto de la erosión.

#### **\* Índice de Fournier**

Chilón (1994), sostiene que este método permite estimar la pérdida de suelo, relacionando valores de degradación de una cuenca con datos climáticos de lluvia:

$$IF = p^2/p$$

Donde:

**$p^2$**  = Precipitación mensual máxima (mm)

**$p$**  = Precipitación anual total (mm)

Dicha ecuación es apropiada para estimar erosiones en grandes extensiones, y no así para áreas pequeñas porque considera el factor pendiente, y no así factores de cobertura vegetal y prácticas de manejo.

\* **Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (EUPS)**

Dourojeani (1985), asevera que la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo, permite determinar la cantidad de suelo que se pierde por efecto de la erosión hídrica en un campo determinado (A) en Tn/ha/año. La cual está determinada por una serie de factores como las lluvias (R), erodabilidad de los suelos (K) y longitud e inclinación (L y S), se puede reducir según el tipo de cobertura o manejo de cultivos (C) y con las prácticas de conservación de suelos (P). La ecuación está representada de la siguiente manera:

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

Los cuatro primeros factores **R**, **K**, **L**, **S** miden la erosión potencial según las condiciones de la zona de estudio, los factores **C** y **P** son controlables por el hombre, modifican en mayor o menor grado de factores zonales.

La presente ecuación no presenta restricciones geográficas y climáticas, puede aplicarse en lugares donde sea posible evaluar los factores individuales.

## **2.8 GRADOS DE EROSIÓN**

Respecto a los grados de erosión hídrica del suelo, es un factor determinante para clasificar los suelos, en vista que están en función del grado de riqueza o pobreza de nutrientes, por ello su incidencia en la pérdida de su capacidad productiva.

En ese sentido estudios efectuados por Torrez (1981), realizó una variedad de clasificaciones respecto al grado de erosión, para ello considero los siguientes

parámetros: clase asigna una escala de valores de 0 a 5; horizonte del suelo perdido donde otorga valores porcentuales de 25% a 100% a cada horizonte en relación a la clase, por último el grado de erosión es determinado mediante calificaciones que van desde un nivel nulo hasta muy severa; como se aprecia en el siguiente cuadro:

**Cuadro 2 Clasificación del Grado de Erosión del Suelo**

Clase	Horizonte del suelo perdido	Grado de erosión
0	No existe erosión	Nula
1	Hasta 25 % de Ha	Normal
2	Hasta 50 % de Ha	Ligera
3	Hasta 100 % de Ha	Moderada
4	Hasta 50 % de Hb	Severa
5	Hasta 100 % de Hb	Muy severa

Fuente: Torrez (1981)

Pacheco (1996), al respecto realiza una clasificación en cuatro clases:

- Clase 1: “Erosión ligera”, se encuentra en relieves planos o casi planos, la erosión principalmente es de tipo laminar ligera.
- Clase 2: “Erosión moderada”, localizada principalmente en mesetas, colinas y laderas inclinadas a moderadamente empinadas. El tipo de erosión es principalmente laminar y puede provocar el arrastre del 50% del horizonte superior del suelo, también puede presentar la formación de surcos poco profundos.
- Clase 3: “Erosión severa”, se presenta mayormente en laderas de colinas y montañas disectadas de origen sedimentario, la erosión laminar provoca la pérdida de todo el horizonte superior y parte del subsuelo, la erosión por surcos persiste, esta da lugar a la formación de cárcavas.
- Clase 4: “Erosión muy severa”, terrenos afectados por esta erosión se denominan tierras malas (bad lands) por alcanzar un grado de deterioro que las convierte en tierras no aptas para la actividad agropecuaria y forestal ; tal

es el caso de zonas donde predominan afloramientos de rocas o zonas muy disectadas por cárcavas profundas que reciben el nombre de barrancos.

En tanto el MDSMA (1996), establecieron una clasificación respecto a grados de erosión de suelos para la región árida, semiárida y subhúmeda seca en Bolivia, así mismo la FAO (1980) citado por Orsag (2003) realizó estudios respecto a la temática, como se aprecian en los siguientes cuadros.

**Cuadro 3 Grados, Tasas y Categorías de Erosión**

Grado de erosión	Tasas de erosión (Tn/ha/año)	Categoría
1	0	Nula
2	< 10	Ligera
3	11 - 30	Moderada
4	31 - 50	Fuerte
5	51 - 100	Muy fuerte
6	101 - 200	Grave
7	> 201	Muy grave

Fuente: MDSMA (1996)

**Cuadro 4 Grado de Erosión de los Suelos**

Erosión	tn ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup>	mm año <sup>-1</sup>
Nula o ligera	< 10	< 0.6
Moderada	10 - 50	0.6 - 3.3
Fuerte	50 - 200	3.3 - 13.3
Muy fuerte	> 200	> 13.3

Fuente: FAO (1980).

### 2.8.1 Límites Permisibles de Erosión

Estudios realizados por Torrez (1981), determino valores máximos de erosión permisibles para un área sin cultivo y otro con cultivo, como se detalla a continuación:

- Área sin cultivo, suelos muy poco profundos, de baja permeabilidad se determinó en 0.4Tn/ha/año.
- Área cultivable, suelos profundos, bien drenados y permeables se precisó en 1.8Tn/ha/año (aproximadamente).

FAO (1983), luego de realizar varias investigaciones en diferentes suelos donde se desarrollan actividades de producción, se logró determinar que el límite tolerable de pérdida de suelo por erosión es de 30Tn/km<sup>2</sup>/año.

Kirby y Morgan (1984), observa por lo general, suelos profundos de textura media, moderadamente permeables con características de subsuelo favorables para el crecimiento de plantas asignaron una tolerancia de 1.1kg/m<sup>2</sup>/año. Suelos con una zona radical superficial y una reducción de propiedades físicas otorgan tolerancias inferiores.

Morales (1994), citado por Pacheco (1996), sostiene que la tolerancia de pérdida de suelo, dependiendo de la zona climática oscila entre 3 a 12Tn/ha/año.

## **2.9 PRÁCTICAS AGROFORESTALES**

### **2.9.1 Agroforestería**

Según Reynel y León T-1 (1990), manifiestan que la agroforestería es una forma de manejo de la vegetación forestal, la cual es una posibilidad de integrar a la agricultura para diversificar y mejorar la producción y sostenibilidad agropecuaria, razón por la cual tiene su importancia en términos de protección y conservación del suelo y agua.

Una práctica agroforestal cumple una función específica y beneficiosa. Consecuencia de ello se tiene los siguientes efectos:

### **a. Resguardo Contra la Erosión**

Existen diferentes formas de mitigar la erosión hídrica, como ser cercos vivos, barreras vivas, así como varios tipos de diseños de establecimiento de vegetación perenne, las cuales pueden conformar auténticas redes de retención del suelo que eviten la pérdida por acción de la escorrentía y la erosión superficial (Reynel y León T-1, 1990).

### **b. Conservación y Regulación del Agua**

Al disponer la vegetación de manera perpendicular a la pendiente del terreno cuando se establecen barreras vivas o cercos vivos, esta intercepta el flujo de la escorrentía superficial ladera abajo y se favorece la retención de humedad y sedimentos.

Cuando existe agroforestería en áreas extensas, los efectos mencionados se maximizan y las partes ubicadas a menor altitud reciben caudales regulados (Reynel y León T-1, 1990).

### **c. Recuperación y Fertilización del Suelo**

Varias especies utilizadas en prácticas de agroforestería tienen la cualidad de aumentar nitrógeno en el suelo como el Aliso (*Alnus jorullensis*), Tarwi silvestre (*Lupinus ballianus*) y una variedad de leguminosas y otras especies. En sus raíces proliferan microorganismos virtud a una simbiosis que tienen la capacidad de captar este elemento y transferirlo al suelo. Convirtiéndose en fertilizadoras naturales (Reynel y León T-1, 1990).

## **2.9.2 Barreras Vivas**

### **a. Aplicación**

Al respecto Reynel y León T-1 (1990), afirman que esta práctica se halla generalizada en la sierra del Perú, su aplicación se encuentra en zonas de ladera

con pendiente moderada, donde se desarrolla la agricultura. Consiste en el establecimiento de bandas de vegetación leñosa siguiendo las curvas de nivel, una vez constituida mitigan la erosión consecuencia de la precipitación y escorrentía. Con el transcurso del tiempo la tierra se acumula sobre la barrera dando lugar a la formación natural de terrazas en el relieve de la ladera.

Así mismo manifiestan que es una hilera de plantas, perennes o semiperennes, de crecimiento denso en el suelo, sembradas perpendicularmente a la pendiente, con la finalidad de disminuir la velocidad de escorrentía y provocar la sedimentación, la eficiencia de dicha práctica dependerá de las condiciones de edad, ancho, espaciamiento y especie utilizada. Disponible en <http://pegasus.ucla.edu/bioagro>

Para tal efecto es recomendable emplear especies forestales de pequeño porte, arbustivas que sean persistentes, de alta densidad radicular y área; que macollen muy cerca del suelo y que no compitan por nutrientes y luz con el cultivo. Raíz compacta y copa pequeña. Las plantas deben sembrarse en hileras dobles, de acuerdo al tipo de vegetación a utilizar.

La barrera debe ser compacta y continua, al margen de ayudar a disminuir la energía del agua de escurrimiento, puede ayudar a los agricultores o obtener algunos ingresos adicionales, debido a que se utilizan plantas arbustivas o herbáceas que proporcionan frutos, materia orgánica, forrajes, fibras, productos para la industria farmacéutica, leña, entre otras (Orsag, 2003).

La distancia entre barreras vivas se determina en función a la pendiente del terreno, clima y tipo de cultivo a instalar entre barreras, como se presenta en el siguiente cuadro:

**Cuadro 5 Distancia entre Barreras Vivas en Función de la Pendiente**

Pendiente ( % )	Distancia entre barreras vivas ( m )
10	15
15	10
20	9.0
25	8.0
30	6.5
35	6.0
40	6.0
60	No apto

Fuente: Suárez de Castro 1980.

PROCIANDINO (1995), menciona que el propósito de esta práctica es modificar la pendiente de la ladera y propiciar la infiltración del agua de lluvia en el suelo. Su aplicación se lo realiza en regiones montañosas con poca extensión de tierras planas fértiles y cultivables, práctica válida para terrenos con pendientes de 10 a 30%, como es el caso del presente estudio. Las restricciones posibles son suelos muy superficiales y pendientes mayores a 30%.

En un estudio realizado en la Región Central de Venezuela, se evaluaron la eficiencia de cinco especies de pastos: vetiver (*Vetiveria zizanioides*) de 10 años, pasto Guatemala (*Tripsacum daniellii*), helecho (*Nephrolepis sp.*), lirio africano (*Agapanthus africanus*) y malojillo (*Cymbopogon citratus*), en la formación de barreras vivas para la protección de un suelo de ladera cultivado con zanahoria (*Daucus carota*), pendientes de 15 y 20%. La barrera más eficiencia fue el vetiver de 10 años y un ancho de 1m, con resultados bajos respecto a la pérdida de suelo; en tanto las restantes presentaban un ancho que no llegaba a 50cm. Disponible en <http://pegasus.ucla.edu.ve/bioagro>.

## **b. Implementación**

Para la implementación de barreras vivas se considera los siguientes aspectos (Orsag, 2003):

- Determinar la pendiente del terreno con ayuda de un nivel de cuerda, eclímetro, etc.
- Con las pendientes calculadas precisar en las tablas y de acuerdo a los cultivos el distanciamiento que debe existir entre barreras.
- En el lugar de la pendiente máxima y más representativa, se señala con ayuda de estacas o piedras los lugares donde se trazaran las curvas de nivel, los mismos se realizan con ayuda del nivel en “ A “.
- Trazadas las líneas se las suaviza eliminando las partes más abruptas.
- Apertura de surcos o zanjas para la siembra.

## **c. Especies**

Estudios realizados por PROMIC (1994) en el departamento de Cochabamba, indican que corresponde una de las practicas de mayor aceptación por comunarios de la cuenca Taquiña, con una longitud de 8936 metros para lo cual emplearon un 80% de especies nativas como *Buddleia sp*, *Cassia sp*, *Baccharis sp* y otras.

PROMIC (1997), citado por Orsag (2003), recomienda las siguientes especies para la conformación de barreras vivas en ecosistemas situados en altitudes a partir de 3600 a 4000 msnm.

Entre las especies recomendadas para la formación de barreras vivas en zonas intermedias se tiene: el vetiver (*Vetiveria zizanoides*), limoncillo (*Cymbopogon citratus*). En los valles mesotermicos de Santa Cruz dieron buenos resultados la utilización del pasto falaris y la paja cederrón (*Cetogum citratus*), también con el

pasto elefante (*Pennisetum purpureum*), la caña brava (*Gynerim sagitarium*), sauce (*Salix humboldtiana*) y la cabuya (*Agave sp.*). (Orsag, 2003).

Así mismo en el Altiplano y Valles de Cochabamba, Rodríguez (2000) citado por Orsag (2003) presenta una variedad de especies con buenos resultados en el Proyecto Laderas; la lista de ambos estudios se presenta en el siguiente cuadro:

**Cuadro 6 Especies Recomendadas para la Conformación de Barreras Vivas**

Estudio	Piso ecológico	Tipo de vegetación	Especie
PROMIC 1997	Puna	Arbustiva - arbórea	Aliso, retama, kiswara, kewiña y k'apa k'apa
		Pastos introducidos	Falaris, bromus y eragrostis
		Pastos nativos	Chilliwa
RODRIGUEZ 2000	Valle	Arbustiva - pastos	Retama, atriplex, vetiver, falaris, pasto lloron.
	Cabecera de Valle	Arbustiva - pastos	Retama, thola, kewiña, falaris, festuca.
	Puna	Pastos	Falaris, paja brava, k'apa k'apa.

Fuente: Elaboración propia, en base a datos recopilados por Orsag 2003.

### 2.9.3 Especies Forestales

Las especies forestales consideradas para el presente estudio, son tres, dos se definen como plantas crasas o suculentas, el agave y la tuna; ambas se caracterizan porque tienen sus tallos, hojas, etc., carnosas y gruesas con abundantes jugos. Ello se debe a que la evolución las ha dotado, por vivir en zonas áridas, y semiáridas; precisamente el abundante jugo que presentan se constituyen en reservas acuíferas para resistir períodos de sequía que suelen suceder en dichas zonas.

#### a. **Maguey** (*Agave americana variegata*)

Reynel y León T-2 (1990); disponible en <http://www.chapingo.mx>, aseveran que el Maguey o agave es una planta suculenta y perenne de aproximadamente 3.5 metros de altura, formado por varias hojas carnosas, provistas de espinas en el borde y la

punta; emergen de un eje central a nivel del suelo de modo radiado. Posee un escapo muy largo de aproximadamente 3 metros de altura, en el cual se encuentra las flores.

Comprende unas 300 especies distribuidas desde el Sur de Norteamérica hasta el Norte de Suramérica, principalmente en México y zonas adyacentes, asimismo se encuentran ampliamente en Centro y Sud América; especie oriunda de Centroamérica pero ampliamente cultivada en la región Andina, se desarrolla bien desde el nivel del mar hasta 3.500msnm o más, temperaturas que oscilan de 8 a 28°C media/anual. Se adapta con facilidad aún en suelos muy superficiales o pedregosos.

Torriceo *et al*, (1994), manifiestan que en nuestro país se halla en valles, cabecera de valle, en un rango altitudinal de 2.500 a 3.300msnm, frecuentemente sobre terrenos erosionados y degradados.

En conservación de suelos, se establece en diseños específicos tales como barreras vivas, protección de taludes, cárcavas y riberas de ríos.

En Agroforestería se utiliza para conformar cercos espinosos alrededor de sus parcelas y evitar de esa manera la invasión de personas o animales que puedan dañar la cosecha.

#### **b. Tuna (*Opuntia ficus -indica*)**

Reynel y León T-2 (1990), menciona que la tuna es una planta suculenta y carnosa. El tallo y las ramas están constituidos por pencas con apariencia de cojines ovoides y aplanados, unidas unas a otras, alcanzan una altura hasta 5 metros.

La raíz es fibrosa y el sistema radicular extenso, penetrando con gran facilidad en

suelos compactados y pedregosos; presenta flores vistosas y grandes de color rojo, anaranjado o amarillo; los frutos son bayas jugosas, comestibles y muy agradables.

Es originaria de la estribación Oeste de los Andes entre Bolivia y Perú. Se distribuye en un rango de altitud a partir del nivel del mar hasta 3.000msnm ; con temperaturas de 11 - 23°C ; la característica de esta especie está en cuanto al requerimiento de humedad que son mínimas, por ello la tolerancia en cuanto al suelo.

Así mismo Hatakeda (1991), precisa que en conservación y formación de suelos, presenta un rápido y amplio desarrollo de las raíces superficiales, resultantes de la necesidad de la planta por presentar una mayor superficie de absorción para el agua, hacen que el sistema radicular crezca formando una red o malla el cual no solo previene y controla la erosión, si no favorece la acumulación y formación de suelos.

Torriceo *et al*, (1994), indica que en Bolivia se encuentra en valles interandinos, cabeceras de valle, en altitudes de 2600 a 3300msnm, crece en laderas suaves y empinadas.

En conservación de suelos, se emplea para la formación de barreras vivas, protección de taludes.

En Agroforestería es idónea para la producción mixta con especies agrícolas, cercos vivos espinosos para la protección de parcelas productivas y predios.

### **c. Retama (*Spartium junceum*)**

Al respecto Reynel y León T-2 (1990), manifiestan que dicha especie se presenta desde una mata pequeña de 50cm de altura hasta arbusto de 2m o más; a veces de porte semi arbóreo. Presenta numerosos tallos y su ramificación es muy característica, con ramas erectas, delgadas de color verde; de follaje muy escaso; las flores son vistosas, amarillas y aromáticas. La especie es oriunda del Mediterráneo.

Está distribuida en toda la región andina, desde el nivel del mar hasta 3.500msnm o más, con temperaturas de 8 - 23°C media/anual, suelos de escasa profundidad, no tolera la pedregosidad elevada.

Torriceo *et al*, (1994), revela que, se encuentra en cabeceras de valle, altitudes entre 2.500 - 3.800msnm, en varios tipos de suelo. Tiene alta idoneidad para prácticas de conservación de suelos dado el elevado y rápido crecimiento, por ello se puede utilizar con facilidad para la conformación de barreras vivas, protección y estabilización de laderas, taludes y riberas.

Del punto de vista agroforestal, se emplea para estabilizar muros de piedra, promover terrazas de formación lenta, conformación de barreras vivas, etc.

## **CAPÍTULO III**

## **LOCALIZACIÓN**

### **3.1 UBICACIÓN**

El presente estudio fue llevado a efecto en la comunidad de Luquicachi, Cantón Cohoni, provincia Murillo en el departamento de La Paz, como se aprecia en la Figura 1.

Geográficamente la comunidad se localiza entre las coordenadas 16°43'40" de Latitud Oeste y 67°50'08" de Longitud Sur, altitud 3.100msnm; se encuentra al sureste de la ciudad de La Paz a 75km. (SEAPAS, 1996).

#### **3.1.1 Caracterización Ecológica**

De acuerdo al Mapa Ecológico Generalizado de Bolivia, el área de estudio corresponde a la Región subtropical de tierras altas (Brockman, 1986), así mismo Montes de Oca (1982), señala que la micro región corresponde a la zona intertropical Sur, cuyo clima subtropical está fuertemente influenciado por la altitud. La cadena montañosa de la Cordillera Real condiciona el clima durante la estación lluviosa, el cual constituye una barrera para las masas de aire húmedo que provienen de la cuenca amazónica.

Por su ubicación altitudinal y efecto del relieve montañoso, presenta una temperatura media anual de 11.8°C; precipitación de 539.5mm/añual, la misma tiene inicio en octubre y se prolonga hasta el mes de abril. La cantidad precipitada en un tiempo de siete meses, febrero registra la mayor precipitación con 146.1mm/mes, y contrariamente con 5.2mm/mes en octubre como la menor precipitación. (Anexo 1, Cuadro 1).

**Figura 1 Mapa de Ubicación del Área de Estudio**



**Fuente: INE (2001)**

Según la Clasificación de Zonas de Vida propuesta por Holdridge, corresponde a Bosque seco montano bajo Subtropical (**bs-MBST**), por los datos de temperatura y precipitación pluvial que presenta.

SEAPAS (1996), al respecto manifiesta que la comunidad de Luquicachi al ubicarse en altitudes de 2.800 - 3.400msnm, presenta un clima de valle seco, el cual se identifica como mesotérmico con invierno seco y frío.

### **3.1.2 Fisiografía**

Según Morales (1990), el área de estudio se encuentra dentro el sistema de Cadena Montañosa, escarpada y quebrada en forma de V. (Imagen 1).

La geología actual de la zona fue sometida a una intensa erosión fluvial, por ello la profundización de los valles que presenta, los fenómenos en masa torrentes de barro y deslizamientos conocidos como mazamoras otorgándole su actual configuración topográfica con innumerables escarpes y cicatrices de deslizamiento.

#### **Imagen 1 Fisiografía del Área de Estudio**



Fuente: Goitia M.

### **3.1.3 Suelos**

El relieve de las laderas determina poca estabilidad, por ello los suelos son poco profundos a superficiales y moderadamente profundos donde la topografía es relativamente plana; la textura varía entre franco arenosa y arcillosa; el color es pardo oscuro a pardo amarillento; presencia de grava en el perfil.

Los suelos del área de estudio son susceptibles a la erosión hídrica y corresponde al nivel de muy alta susceptibilidad, por sus características topográficas que presenta (Brockman, 1986).

### **3.1.4 Uso de la Tierra**

Respecto a la tenencia de tierras, del 100% de superficie que dispone la micro región de Cohoni, solo el 40% del área está destinado a la producción agrícola, por encontrarse en una topografía accidentada y pendientes que oscilan de moderadas a muy escarpadas y la gran cantidad de barrancos que presenta (SEAPAS, 1996).

La comunidad de Luquicachi abarca un total de 40ha., del cual una extensión de 12ha., está destinado para la producción agropecuaria, la producción agrícola se realiza en parcelas que oscilan entre 0.02ha hasta 0.5ha., como se aprecia en la Imagen 2; 6ha., se encuentran en barbecho, y las restantes 22ha., constituyen los barrancos (SEAPAS, 1996).

La producción agrícola, es diversificada, razón por la cual los cultivos en orden de importancia para la comunidad son lechuga, tomate, papa, maíz, arveja, haba, vainita, locoto, cebada; asimismo se dedican a la producción de frutales como ciruelo, durazno, higo y pacay, aspecto que refleja un manejo apropiado de pisos ecológicos (SEAPAS, 1996).

## Imagen 2 Parcelas de Producción Agrícola



Fuente: Goitia M.

### 3.1.5 Vegetación

En base a datos de campo, se realizó una identificación de la vegetación natural existente en el área de estudio, la misma esta conformado por tres estratos; árboles de 10 a 15m, arbustos de 1 a 2m y herbáceas menores a 1m de altura; existiendo predominio de las especies arbustivas.

En ese sentido la diversidad de especies distribuidas y registradas en el sector de la investigación se presentan en los siguientes cuadros:

**Cuadro 7 Especies Arbóreas**

Nombre común	Nombre científico
Eucalipto	<i>Eucaliptus globulus</i>
Keñua	<i>Polilepys incana</i>
Molle	<i>Schinus molle</i>

Fuente: Elaboración propia 2006

### Cuadro 8 Especies Arbustivas y Suculentas

Nombre común	Nombre científico
Agave	<i>Agave americana</i>
Añahuaya	<i>Adesmia spinosissima</i>
Chillca	<i>Baccharis latifolia</i>
Jamillo	<i>Loranthus striatus</i>
Khara	<i>Paya spp</i>
K'upi	<i>Kaneneckia lanceolata</i>
Mutu Mutu	<i>Cassia tomentosa</i>
Retama	<i>Spartium junceum</i>
Sanu Sanu	<i>Ephedra americana</i>
Sehuenca	<i>Cortaderia sp</i>
Thola	<i>Parastrephia lepidophylla</i>
Tuna	<i>Opuntia ficus – indica</i>

Fuente: Elaboración propia 2006

## **CAPÍTULO IV**

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

### **4.1 MATERIALES**

#### **4.1.1 Materiales de campo**

Los materiales empleados en el desarrollo del estudio son: cámara fotográfica, chontas, cuchillos, estacas de madera (40cm.), flexo metro, libreta de registro, lienzo, Nivel en "A", picotas, pluviómetro, regla de 30cm., rollo de película, wincha y varillas de hierro (30cm. de largo).

#### **4.1.2 Material Vegetal**

El material vegetal utilizado, fueron tres especies forestales, 174 plantines de retama, 90 plantas de agave y 174 pencas de tuna. Los dos últimos se recolectaron en la zona de estudio; las pencas de tuna se extrajeron de plantas seleccionadas y posteriormente se dejaron secar al sol por un tiempo de 15 días.

### **4.2 METODOLOGÍA**

#### **4.2.1 Área de Estudio**

El desarrollo del estudio se implemento en un terreno en barbecho, la elección del mismo se efectuó conjuntamente con los pobladores del lugar; y con ayuda de los mismos se procedió a delimitar un área de 29.5 x 26m para ello se utilizo estacas; se determinó el porcentaje de pendiente con ayuda del nivel en "A".

Al existir una acequia en medio de la superficie establecida, la disposición de las unidades experimentales se ubico en dos lugares como se observa en la Figura 2.

### 4.2.2 Diseño del Ensayo

El presente estudio se estableció bajo el Diseño de Bloques Completos al Azar; según la metodología planteada por Quiroga (1979). Se utilizaron cuatro tratamientos y seis repeticiones. El modelo estadístico es el siguiente:

$$Y_{ij} = u + t_i + b_j + E_{ij}$$

Donde:

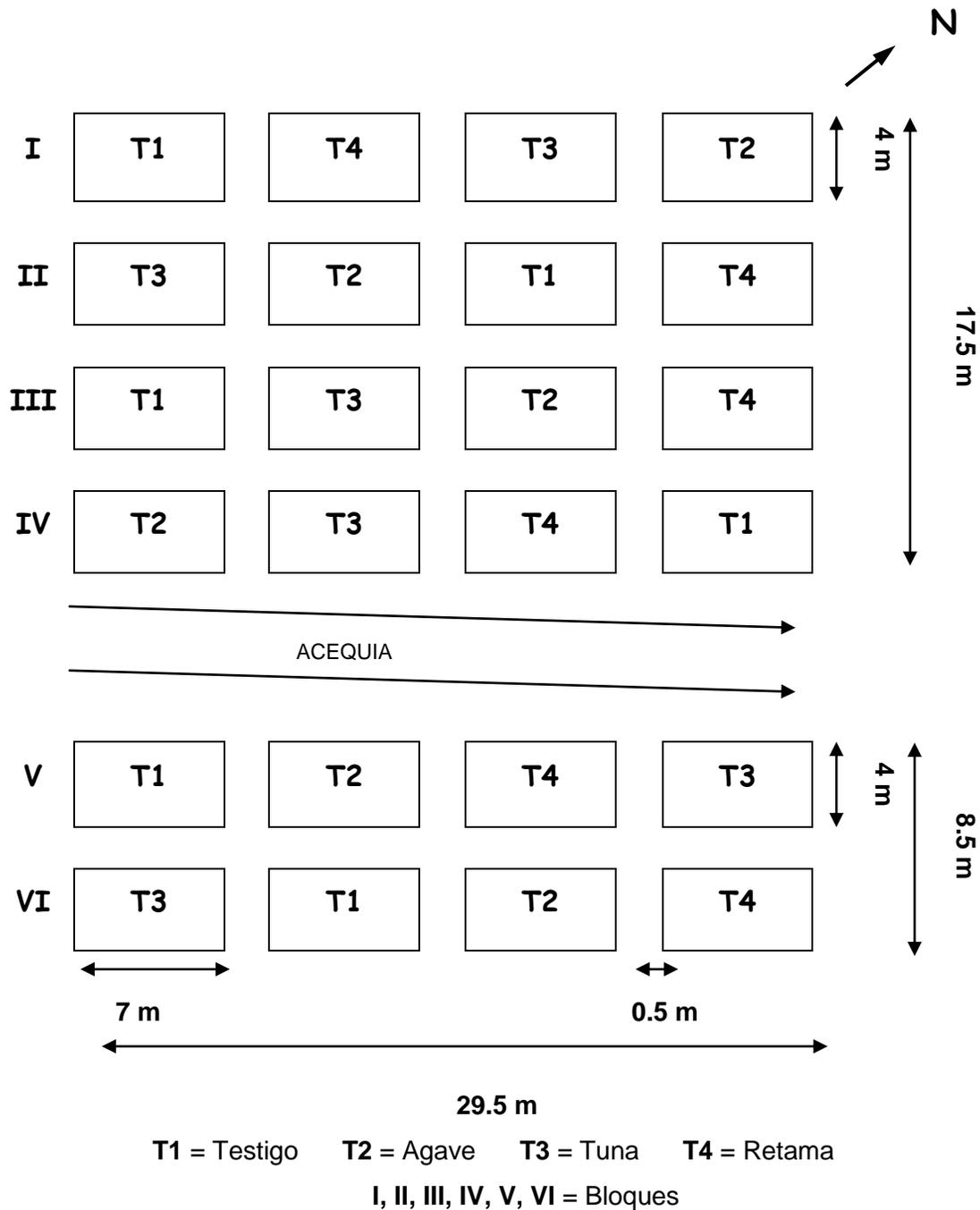
$u$  = Media común

$t_i$  = Efecto del tratamiento

$b_j$  = Efecto del bloque

$E_{ij}$  = Error experimental

Figura 2 Distribución de Parcelas



#### 4.2.3 Implementación de Barreras Vivas

La implantación de las barreras vivas en las parcelas fue a una distancia de 4m, la cantidad de las especies utilizadas fueron 90 matas de agave, 174 pencas de tuna y 174 plantines de retama. La evaluación fue mediante regresión.

La plantación, se efectuó el 1 y 2 de septiembre del 2006, la retama y la tuna se realizaron mediante la técnica de tres bolillo y las matas de agave en línea. La distancia de plantación entre plantines para cada especie fue 0.50m.

#### **4.2.4 Vegetación Natural**

Así mismo se determinó la cobertura vegetal de la vegetación natural que emergieron durante el estudio dentro de cada parcela experimental, para ello se aplicó la técnica del cuadrante recomendado por Fierro (1980), cual se refiere a un cobertor de  $0.25\text{m}^2$  ( $0.50 \times 0.50\text{m}$ ). Para la evaluación se utilizó regresión.

#### **4.2.5 Erosión**

##### **a. Instalación de Varillas**

Para cuantificar el grado de erosión por efecto de las lluvias, se utilizaron varillas de acero de 30cm de longitud como recomienda Llerena (1986), se instalaron cuatro varillas representando un área de  $1\text{m}^2$  en las unidades experimentales (Imagen 3), se utilizó un total de 96 varillas, los mismos se introdujeron hasta una profundidad de 20cm en el subsuelo.

**Imagen 3 Disposición de Varillas Metálicas**



Fuente: Goitia M.

## **4.2.6 Variables de Respuesta**

### **4.2.6.1 Clima**

La variable meteorológica cuantificada fue la precipitación, se instaló un pluviómetro (Anexo 7, Fot. 1) en el área de estudio, para determinar la cantidad de lluvia en milímetros registrado durante 24 horas, en el periodo octubre 2006 - abril 2007; respecto a los datos de temperatura se obtuvieron mediante la aplicación de ecuaciones de regresión en grados centígrados (°C), propuesta por CIASER - GEOBOL (1988).

### **4.2.6.2 Suelo**

Para caracterizar el suelo del área en estudio, se procedió a la excavación de una calicata, para efectuar la descripción de horizontes, para ello se recurrió al Manual para Levantamiento de Suelos establecido por la FAO (1977).

Posteriormente se procedió a obtener muestras de suelo de los distintos horizontes: HA de 0 a 20cm., HBw 20 a 35cm. y HC mayor a 35cm., las mismas fueron enviadas al laboratorio de suelos del Instituto Boliviano de Tecnología y Energía Nuclear (IBTEN) para su respectivo análisis fisicoquímico:

- Parámetros físicos
  - Textura, contenido de arcilla, arena y limo, densidad aparente.
  
- Parámetros químicos
  - Reacción del suelo (pH), suspensión agua suelo, relación 1:5, por el método del potenciómetro.
  - Conductividad eléctrica (CE), en suspensión agua suelo, relación 1:5 por el puente de Wheatstone.

- Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC), los cationes de cambio fueron extraídos con Acetato de Amonio 1 N, Sodio y Potasio (Na + K).
- Calcio y Magnesio (Ca + Mg), extraídos con acetato de Sodio 1 N.
- Materia Orgánica (MO), por el método de Walkley Black.
- Nitrógeno (N), por el método Kjeldahl.
- Fósforo (P), análisis por el método de Bray Kurtz.

#### **4.2.6.3 Barreras Vivas**

Las especies forestales Agave, Tuna y Retama se encuentran en el sector; así las matas de agave se hallan dispuestas a manera de barreras vivas como una práctica de conservación de suelos para mitigar la erosión del suelo y favorecer el establecimiento de terrazas de formación lenta, como se observa en la Imagen 4. En tanto las plantas de tuna disponen para la producción de fruta y la retama se encuentra de forma ornamental en sus predios de producción agrícola así mismo emplean para la protección de sus canales de riego.

**Imagen 4 Terrazas de Formación Lenta con Agave**



Fuente: Goitia M.

Para establecer el comportamiento de las tres especies forestales en estudio, se consideró parámetros de porcentaje de prendimiento, altura de planta y cobertura en la conformación de barreras vivas.

**a. Porcentaje de Prendimiento**

El porcentaje de prendimiento para las tres especies forestales, se determinó al mes de realizado la plantación septiembre 2006.

**b. Altura de Planta**

El comportamiento respecto al desarrollo de cada una de las tres especies forestales, se registraron medidas con flexo metro en forma vertical a partir de la base del tallo hasta el ápice de la planta para la tuna y la retama, y de forma radial para las hojas del agave.

Para el caso del Agave, se eligieron 7 plantas al azar en la barrera viva implantada de cada parcela, las mismas se identificaron respectivamente con un marcador, de manera que las medidas se registren en las mismas plantas durante el desarrollo del estudio.

Así mismo para las pencas de Tuna y plantines de Retama se eligieron al azar un número de 13 en las barreras vivas y se identificaron para registrar posteriormente las mediciones en las mismas. La frecuencia de observación fue a final de cada mes a partir de septiembre del 2006.

**c. Cobertura**

La cobertura vegetal de una especie, se define como la proporción de terreno ocupado por la proyección perpendicular de la parte aérea de las especies consideradas. Se expresa como porcentaje de la superficie total.

En ese sentido, para realizar una estimación objetiva de la cobertura en porcentaje (%) de las especies implantadas Agave y Tuna en la formación de barreras vivas, se utilizó la técnica de Transecto en Línea, o Unidades muestrales lineales recomendado por Matteucci S. *et al*, (1982), el método consiste en usar una línea cinta métrica o cordón para el transecto. (Anexo 7, Fot. 2).

La cobertura interceptada de cada especie es medida con un flexo metro, su distribución es predeterminada. La longitud de la barrera viva se considera 7m. La ponderación de cobertura se obtiene a través de la siguiente relación:

$$\% \text{ Cobertura} = \frac{\text{Sumatoria de cobertura total interceptada}}{\text{Longitud total de línea}} \times 100$$

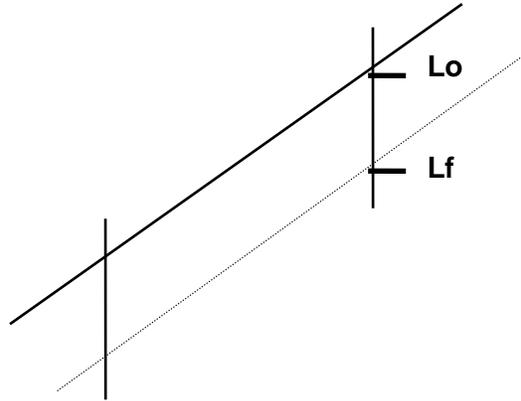
La cobertura vegetal de las especies forestales en la conformación de barreras vivas se determino a partir de septiembre del 2006 y posteriormente la frecuencia fue cada mes hasta la conclusión del estudio.

#### **4.2.6.4 Vegetación Natural**

La cobertura de la vegetación natural que emergió en cada unidad experimental se determino en porcentaje (Anexo 7, Fot. 3) a partir del inicio de las lluvias octubre 2006 y posteriormente cada mes hasta la conclusión del estudio.

#### **4.2.6.5 Erosión**

La cuantificación del suelo erosionado se determinó a través de lecturas realizadas en las varillas establecidas, se considero nivel cero de suelo erosionado (Lo), a partir de ahí se realizaron registros mensuales, durante el periodo de lluvias octubre 2006 - abril 2007 constituyéndose la lectura final (Lf) este ultimo.



$$\mathbf{Se = Lo - Lf}$$

Donde:

Se = Suelo erosionado (cm)

Lo = Lectura inicial (cm)

Lf = Lectura final (cm)

El cálculo de suelo erosionado por efecto de las precipitaciones se cuantifico en  $Tn/m^2/año$  mediante la siguiente relación:

$$\mathbf{PSE = Dap * Prof * Sup}$$

Donde:

PSE = Peso de suelo erosionado ( $Tn/m^2/año$ ).

Dap = Densidad aparente del suelo en estudio (gr./cc).

Prof = Lámina de suelo erosionado (cm.)  
(promedio de las estacas de erosión).

Sup = Superficie ( $m^2$ ).

## CAPÍTULO V

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

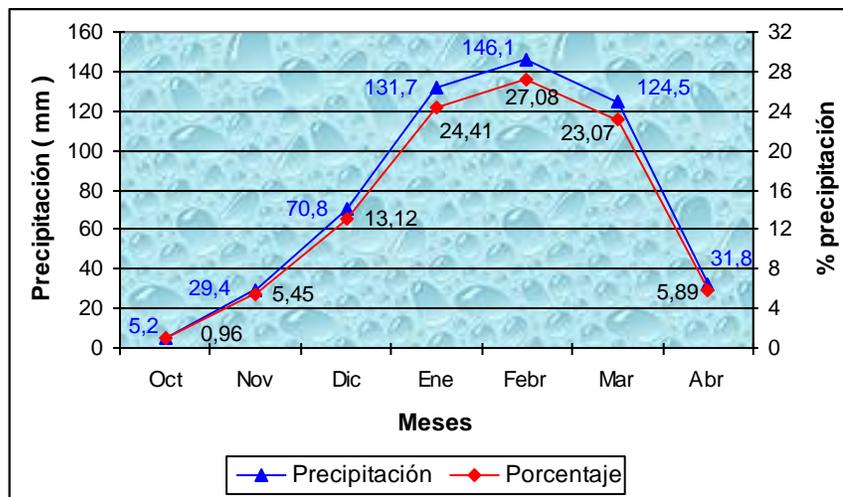
### 5.1 CLIMA

#### 5.1.1 Precipitación

Las características climáticas determinadas en el área de estudio, fueron parámetros de precipitación y temperatura principalmente; la falta de una estación meteorológica fue limitante para analizar el factor intensidad de lluvia y determinar su efecto en la erosión hídrica.

- En ese sentido los datos de precipitación se obtuvieron de un pluviómetro instalado en el área de investigación; los registros mensuales durante el periodo de lluvias y su distribución porcentual se aprecia en la Figura 3, (Anexo 1, Cuadro 1).

**Figura 3 Precipitación Mensual 2006 - 2007**



Fuente: Elaboración propia 2006

- El nivel de precipitación registrado durante la época de lluvias 2006 - 2007, fue de 539.5mm/año, valor que se encuentra dentro los parámetros de 200 - 800mm/año establecidos por Reynel y León, T-1 (1990) para el

establecimiento de las especies forestales agave, tuna y retama. Así mismo el mes con mayor porcentaje de precipitación fue febrero con 27.08% y contrariamente octubre con 0.96%.

- El Cuadro 9, refleja la frecuencia de días registrados con precipitación pluvial durante siete meses, así octubre muestra una baja frecuencia con un día, contrariamente febrero presento 18 días de precipitación (26.09%) y por tanto la mayor precipitación registrada entre el 2006 - 2007.

**Cuadro 9 Frecuencia de Precipitación**

	<b>Octubre</b>	<b>Noviembre</b>	<b>Diciembre</b>	<b>Enero</b>	<b>Febrero</b>	<b>Marzo</b>	<b>Abril</b>
Nº días con precipitación	<b>1</b>	3	10	17	<b>18</b>	15	5
Porcentaje (%)	<b>1.45</b>	4.35	14.49	24.64	<b>26.09</b>	21.74	7.25
<b>Total días</b>	<b>69</b>						

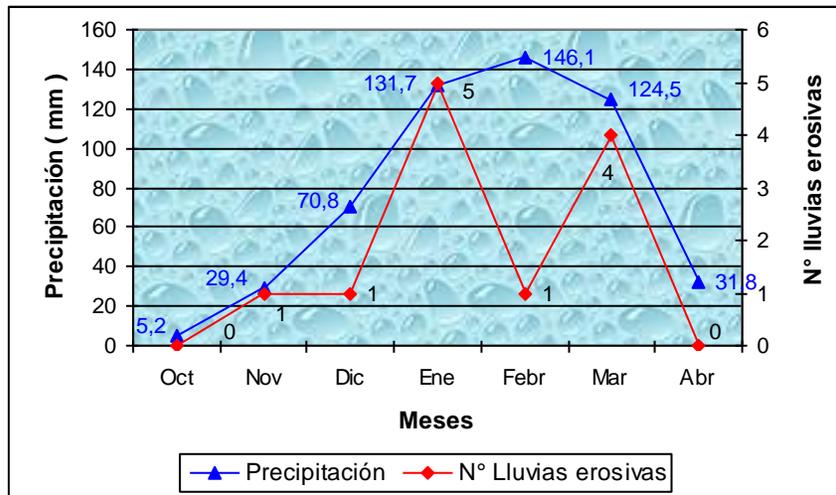
Fuente: Elaboración propia 2006

La menor precipitación registrada y número de días con lluvia fue el mes de octubre con 5.2mm y un día respectivamente (Figura 3, Cuadro 9), aspectos que no fueron limitantes para el prendimiento y desarrollo de las tres especies forestales en la implantación como barreras vivas.

- La falta de una estación meteorológica en el área de estudio, fue limitante para establecer la intensidad de lluvia existente, y por ende determinar el grado de erosión que existe en el área, por ello conlleva a estimar indirectamente dicho parámetro; en tal sentido se considero la mayor precipitación registrada en 24 horas, la misma corresponde al mes de febrero con un día 30.7mm, valor que permite asumir mayor energía cinética (fuerza) por consiguiente mayor capacidad para provocar dispersión de los agregados y el arrastre posterior de las partículas del suelo por el agua.
- Investigaciones realizadas en la región andina del Perú, demostraron que

intensidades de lluvia mayores o iguales a 12.7mm, presentan problemas de erosión Orsag (2003), en ese entendido, durante el desarrollo del estudio se registraron 69 días con precipitación de los cuales 12 eventos presentaron niveles superiores a lo indicado considerados como erosivas, siendo enero el mes con mayor frecuencia de precipitación con 5 días, como se aprecia en la siguiente figura.

**Figura 4 Precipitación Mensual y Número de Lluvias Erosivas 2006 - 2007**



Fuente: Elaboración propia 2006

- El total de precipitación registrada fue 539.5mm, la misma se encuentra por encima del parámetro de 300mm/año recomendado por Llerena (1986), para cuantificar la pérdida de suelo por efecto de las lluvias mediante el método de las varillas.

### 5.1.2 Temperatura

- Los valores de temperatura se obtuvieron mediante la aplicación de ecuaciones de regresión establecidos por CIASER - GEOBOL (1988) para cada mes como se aprecia en el Cuadro 10, para ello se utilizaron valores de Latitud 16.73 en decimales y altitud 3100 en metros que corresponden al área de estudio. La temperatura promedio anual fue de 11.8°C. El mismo se

encuentra dentro el rango de temperatura 8 - 23°C establecido por Reynel y León T-2 (1990), para la implantación de las tres especies forestales.

**Cuadro 10 Ecuaciones de Regresión para el Cálculo de Temperatura en °C**

Mes	Ecuaciones de regresión	T °C
Enero	$( 0,125701 * \text{Latitud} ) - ( 0.004615 * \text{Altitud} ) + 25.933689$	13.7
Febrero	$( 0,251263 * \text{Latitud} ) - ( 0.004642 * \text{Altitud} ) + 24.048176$	13.9
Marzo	$( 0,163079 * \text{Latitud} ) - ( 0.004584 * \text{Altitud} ) + 25.103066$	13.6
Abril	$( 0,182564 * \text{Latitud} ) - ( 0.004771 * \text{Altitud} ) + 24.393715$	12.7
Mayo	$(-0,017928 * \text{Latitud} ) - ( 0.004935 * \text{Altitud} ) + 26.400498$	10.8
Junio	$(-0,035336 * \text{Latitud} ) - ( 0.005045 * \text{Altitud} ) + 25.667890$	9.4
Julio	$(-0,137226 * \text{Latitud} ) - ( 0.005012 * \text{Altitud} ) + 26.949816$	9.1
Agosto	$(-0,270368 * \text{Latitud} ) - ( 0.004884 * \text{Altitud} ) + 29.961099$	10.3
Septiembre	$(-0,282965 * \text{Latitud} ) - ( 0.004680 * \text{Altitud} ) + 31.132277$	11.9
Octubre	$(-0,078978 * \text{Latitud} ) - ( 0.004629 * \text{Altitud} ) + 29.985395$	14.3
Noviembre	$( 0,313802 * \text{Latitud} ) - ( 0.004628 * \text{Altitud} ) + 19.501671$	10.4
Diciembre	$( 0,535751 * \text{Latitud} ) - ( 0.004611 * \text{Altitud} ) + 16.400568$	11.1
<b>Promedio Anual</b>		<b>11.8</b>

Fuente: Elaboración propia 2006

## 5.2 SUELO

Las propiedades físicas y químicas del suelo se aprecian en el Cuadro 11 (Anexo 2; Cuadro 1, 1a, 2), y en función a ello se relaciono con los requerimientos establecidos por Reynel y León T-2 (1990), para la implantación del agave, tuna y retama.

### 5.2.1 Características Físicas

- La pendiente encontrada fue 31%, la cual se clasifica como escarpada de acuerdo al Mapa Preliminar de Erosión de Suelos (MDSM 1996). La misma se halla dentro lo establecido por Suárez de Castro (1980) para la implantación de barreras vivas.

- Textura, franco arcilloso (FY) en el horizonte A, la profundidad presenta mayor porcentaje de arcilla 42%, respecto al horizonte superior 34% (Cuadro 11).

Estudios realizados en la sierra del Perú por Reynel y León T-2 (1990), para la implantación de la tuna y retama, ambas resultan tolerantes respecto al tipo de textura del suelo; en tanto el agave presenta un desarrollo óptimo en suelos arenosos y francos (Cuadro 12). En ese sentido la clase de textura franco arcilloso (FY) es adecuado sin restricción para la implementación de las especies forestales.

Suelos que presentan este tipo de textura en el horizonte superior, se consideran suelos agrícolas de buena calidad como asegura Villarroel (1988), y mediante un manejo adecuado se logra obtener suelos productivos con el tiempo; la capa arable es poco profundo registrado en terrenos de ladera como es el caso del presente estudio.

- Grava, componente perceptible en porcentajes de 36.8% en la superficie, valor que disminuye con la profundidad a 23.4% (Cuadro 11). Se constituye en un factor que dificulta de cierta manera la realización de labores culturales, pero mejora el drenaje.

Reynel y León T-2 (1990), afirman que las especies en estudio adquieren alta tolerancia a la pedregosidad mayor a 60%. Por ello el porcentaje de grava existente en el horizonte A, no fue limitante para la implantación de las tres especies forestales.

- Estructura, subangular, débil a moderado, finos a muy finos.
- Profundidad efectiva, esta determinada por el espesor de los horizontes, donde las plantas a través de sus raíces obtienen los nutrientes y agua para desarrollar, por ello el suelo presenta una profundidad de 40cm. (Villarroel, 1988).

En ese sentido, la profundidad requerida para la implantación de las especies es menor a 15cm. como sostienen Reynel y León, T-2 (1990); por ello se puntualiza que la profundidad determinada de 40cm. se clasifica como regular, lo cual favorece al desarrollo del sistema radicular de las tres especies, aspecto que favorece conjuntamente con los factores anteriormente descritos.

**Cuadro 11 Propiedades Físicas y Químicas del Suelo**

Parámetro	Unidad	Horizonte		
		A	Bw	C
Arena	%	28	34	22
Arcilla	%	34	39	42
Limo	%	38	27	36
Densidad aparente	gr./cc	1.33		
Textura		FY	FY	Y
Grava	%	36.8	24.8	23.4
Carbonatos libres		A	P	P
pH en agua 1:5		6.82	7.08	7.02
pH en KCL 1N 1:5		6.46	6.52	6.81
Conductividad eléctrica	mmhos/cm.	2.11	3.53	6.02
Al + H	meq/100gr	0.025	0.042	0.038
Calcio	meq/100gr	6.08	5.64	9.61
Magnesio	meq/100gr	5.06	5.79	4.11
Sodio	meq/100gr	1.517	10.818	6.579
Potasio	meq/100gr	0.20	0.38	0.40
CIC	meq/100gr	12.87	22.67	20.74
Saturación de bases	%	99.8	99.8	99.8
Materia orgánica	%	1.76	2.05	0.64
Nitrógeno	%	0.14	0.19	0.09
Fósforo asimilable	Ppm	4.42	1.64	5.45

Fuente: Elaboración propia 2006

FY = Franco arcilloso Y = Arcilloso A = Ausente P = Presente

### 5.2.2 Características Químicas

Las características químicas del suelo reflejan el nivel de fertilidad y comportamiento

de las especies sujeto de estudio en la implantación como barreras vivas; así mismo es importante para desarrollar la producción agrícola, actividad a la cual se dedica la población del área de estudio; por ello se considero los siguientes parámetros:

- pH, oscila entre 6.82 - 7.08, su clasificación corresponde a neutro y débilmente alcalino.

En ese sentido el rango y características de pH del suelo, es corroborado por Reynel y León., T-2 (1990) para la implantación del agave, la retama y la tuna (Cuadro 12).

Así mismo los valores de pH, se encuentran dentro el rango de aprovechamiento para los elementos nutritivos como son el nitrógeno, fósforo, calcio, magnesio, potasio y micronutrientes por las plantas, como asevera Villarroel (1988).

- Conductividad eléctrica (CE), constituye un indicador de presencia o ausencia de sales en el suelo, por ello el horizonte A se clasifica como moderadamente salino 2.11mmhos/cm. a fuertemente salino 6.02mmhos/cm. en la profundidad.

El mayor contenido existente en la profundidad se asume a la presencia de sales solubles las cuales fueron acumuladas por efecto de la lixiviación.

- Capacidad de intercambio catiónico (CIC), presenta valores inferiores a 20.7meq/100gr de suelo en el horizonte A, en tanto el horizonte B adquiere un intercambio de cationes moderado 22.6meq/100gr de suelo.

Valores de CIC del suelo, reflejan la capacidad que tiene el suelo para retener nutrientes, en ese entendido se encuentra entre bajo a moderado.

- Materia orgánica (MO), presenta bajos contenidos en todo el perfil, con valores menores a 2%, lo cual refleja que se encuentran dentro los límites de

0.1 y 10% de materia orgánica en horizontes A que corresponden a suelos agrícolas como afirma Villarroel (1988).

Bajo contenido de materia orgánica en el suelo, se atribuye a la reducida presencia de restos vegetales que provienen de las plantas, a ello se suma las condiciones climáticas como la precipitación y el calor que favorecen a un crecimiento de la escasa vegetación que existe, por tanto existe una baja descomposición de los restos vegetales transcurrido las lluvias.

- Nitrógeno (N), el contenido de nitrógeno en el horizonte A se halla en un nivel bajo con 0.14%, el cual incrementa gradualmente en el siguiente horizonte a 0.19% reflejando un valor moderado.

El nitrógeno aprovechable en el suelo se encuentra en cantidades bajas, para lo cual se considero el contenido de MO 1.76% y textura franco arcillosa Ojeda (1976).

- Fósforo (P), elemento que esta presente en cantidades menores a 5ppm en todo el perfil, dicho valor corresponde menor a 12.5kg/ha. aspectos que atribuyen una clasificación muy baja Villarroel (1988).

La fertilidad del suelo se encuentra en niveles bajos, mismos reflejados en parámetros de capacidad de intercambio catiónico, materia orgánica, nitrógeno y fósforo existentes en los horizontes del suelo, aspecto que no fue limitante para la implantación y desarrollo de las especies forestales agave y tuna.

Valores bajos de materia orgánica 1.76%; arcilla 34% y limo 38% en el horizonte superficial del suelo, se consideran susceptibles a la erosión hídrica como aseveran Evans (1984) y Orsag (2003), a ello coadyuva la pendiente.

**Cuadro 12 Correlación de Parámetros para el Establecimiento de Tres  
Especies Forestales Agave, Tuna y Retama**

Parámetro	Valores establecidos en estudios anteriores ( Reynel y León 1990)			Valores establecidos en el presente estudio ( M. Goitia 2006)		
	Agave	Retama	Tuna	Agave	Retama	Tuna
<b>Altura promedio (m)</b>	1.5 - 4	1.5	1.5	0.34	--	0.54
<b>Altitud (msnm)</b>	0 - 3500	0 - 3000	0 - 3500	3100	3100	3100
<b>T °C (media)</b>	8 - 23	11 - 23	8 - 23	11.8	11.8	11.8
<b>Resistencia a heladas</b>	Eventual	No soporta	Eventual	Eventual	Eventual	Eventual
<b>pH</b>	Alcalina	Alcalina	Alcalina	Neutro - débilmente alcalino	Neutro - débilmente alcalino	Neutro - débilmente alcalino
<b>Suelos</b>	Arenosos, francos	Tolerante	Tolerante	Franco arcilloso	Franco arcilloso	Franco arcilloso
<b>Profundidad requerida (cm)</b>	Escasa, menos de 15 cm.	Escasa menos de 15 cm.	No determinado	Regular 40 cm.	Regular 40 cm.	Regular 40 cm.
<b>Tolerancia a pedregosidad (%)</b>	Alta, mayor a 60%	Alta, mayor a 60%	Baja, menor a 10%	Grava 36.8%	Grava 36.8%	Grava 36.8%
<b>Requerimiento de agua (mm/año )</b>	Medio - bajo, de 200 a 800	Medio - bajo, de 200 a 800	Bajo, menos de 200	539.5	539.5	539.5

Fuente: Elaboración propia 2006.

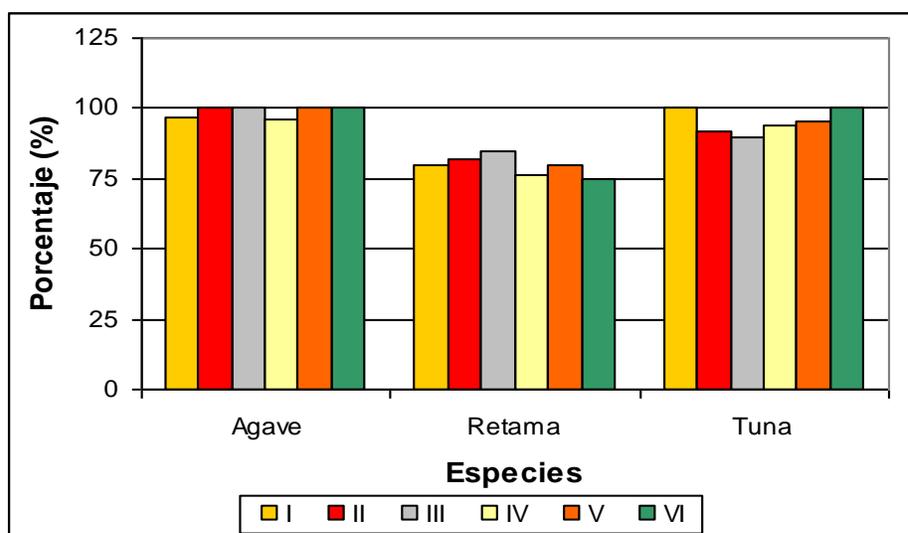
El cuadro anterior refleja una correlación entre estudios anteriores con la presente investigación, así mismo expresa una síntesis de parámetros climáticos y edáficos determinados para el establecimiento del agave, la retama y la tuna; los valores

encontrados resultado del estudio permanecen en el rango de valores obtenidos en la Sierra de la República del Perú por Reynel y León, T-2 (1990).

### 5.3 BARRERAS VIVAS

#### 5.3.1 Porcentaje de Prendimiento

**Figura 5 Porcentaje de Prendimiento de Tres Especies Forestales**



Fuente: Elaboración propia 2006

#### a. Agave

Las matas de agave, al mes de realizado la plantación septiembre 2006 obtuvieron 99% de prendimiento en promedio, lo cual se atribuye que esta especie enraíza con facilidad en suelos muy superficiales o pedregosos, por tanto es una especie idónea para el establecimiento como barrera viva.

#### b. Retama

En relación a esta especie se pudo advertir un prendimiento promedio de 80%, a fines del mes de septiembre de realizado la plantación.

Posteriormente se efectuó el refalle del 20%, pero en el mes de octubre un 70% del total de plantines presentaron solo tallos, en vista que ramas y hojas fueron consumidas por viscachas, mamífero que habita en la zona de estudio. Por todo ello, esta especie no cumplió los objetivos trazados en el presente estudio, al margen de considerar acciones de refalle.

La importancia de esta leguminosa, es que fija nitrógeno atmosférico al suelo, por tanto se considera una fuente de este elemento para el aprovechamiento de las plantas.

### **c. Tuna**

Las pencas de tuna, conjuntamente con las matas de agave, fueron las dos especies que tuvieron mejor comportamiento en cuanto a prendimiento.

Esta especie registró 95% de prendimiento en promedio, transcurrido el mes de realizado el trasplante, posteriormente se realizó el refalle de 5% de pencas, las cuales llegaron a completar el total de material vegetativo empleado.

Las tres especies agave, tuna y retama exteriorizaron porcentajes mayores de prendimiento como se aprecia en la Figura 5, (Anexo 3, Cuadro 1), aspecto atribuible a las características edafoclimáticas del área de estudio, como ser profundidad efectiva de 40cm, pH neutro a alcalino y fertilidad baja a moderada favorecieron a ello, dichos valores se encuentran dentro los parámetros destacados por Reynel y León T-2 (1990).

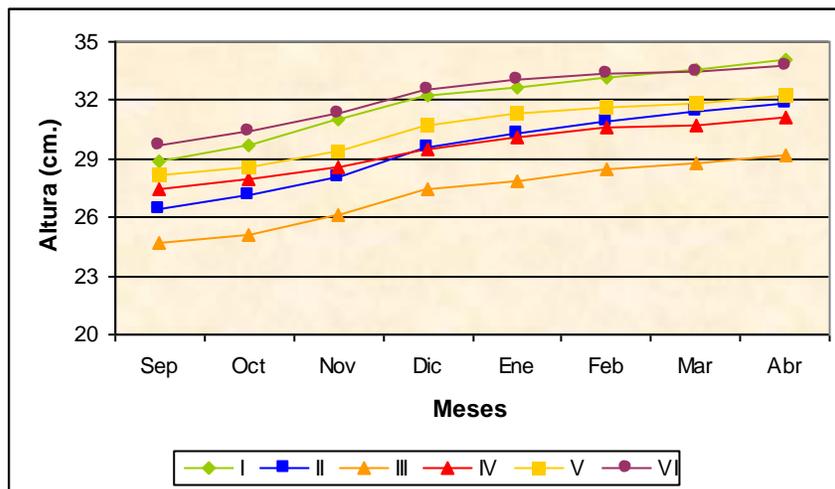
#### **5.3.2 Altura de Planta**

Las siguientes figuras reflejan la altura promedio de las plantas de agave y tuna registrados (Anexo 3, Cuadro 2) durante el desarrollo de ambas especies respecto al tiempo en la conformación de barreras vivas.

### a. Agave

El comportamiento de las plantas de agave respecto a los niveles de crecimiento promedio en la formación de barreras vivas durante el estudio se aprecia en la Figura 6, (Anexo 3, Cuadro 3), (Anexo 7, Fot. 4).

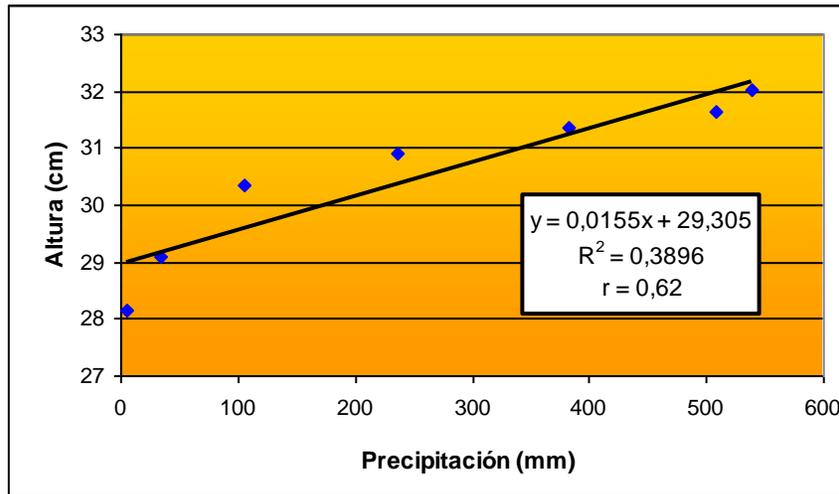
**Figura 6 Incremento de Altura Promedio (cm) en Barreras Vivas de Agave**



Fuente: Elaboración propia 2006

El agave desde el inicio del estudio hasta la culminación del mismo, alcanzan una altura promedio de 4.5cm. El desarrollo de esta especie incrementa de forma permanente a partir del mes de septiembre a diciembre, y hasta el mes de abril se aprecia un ligero crecimiento en las barreras vivas Figura 6; el bloque III manifiesta menor altura de 29.2cm, respecto a 34.1cm del bloque I; por tanto este último conjuntamente con B-V (32.2cm) y B-VI (33.8cm) muestran mayor y mejor desarrollo, los mismos se consideran al mayor tamaño de las plantas utilizadas en la implantación de las barreras vivas en relación al resto de los bloques.

**Figura 7 Regresión Simple Altura de Agave vs. Precipitación**



Fuente: Elaboración propia 2006

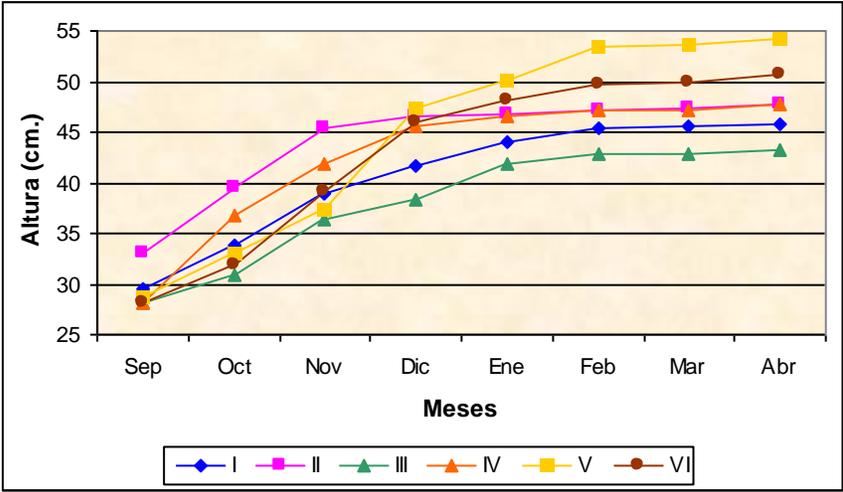
La Figura 7, refleja una correlación moderada de tipo lineal ( $r=0.62$ ) entre altura de planta y precipitación; en la cual 38.9% de altura de las plantas dependieron de la precipitación, en tanto 61.1% corresponde a características inherentes de esta especie, es decir enraíza con facilidad aún en suelos superficiales Reynel y León T-2 (1990), para el presente estudio la profundidad del suelo fue regular.

#### **b. Tuna**

Las plantas de tuna tuvieron mejor comportamiento 58.4% respecto al agave 41.6% (Anexo 3, Cuadro 4) en la conformación de barreras vivas Imagen 6. Así mismo presentaron mayor desarrollo 18.9cm en promedio respecto al agave 4.5cm a la culminación de la presente investigación (Anexo 7, Fot. 5).

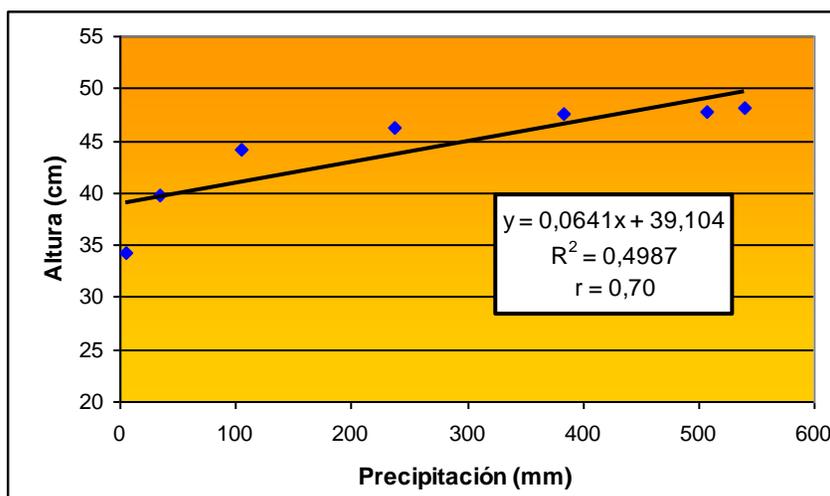
El crecimiento de altura de esta especie se aprecia en la Figura 8; existe un incremento permanente en todos los bloques hasta el mes de enero, destaca B-V y la misma persiste hasta la conclusión con 54.3cm de altura. A partir de febrero las plantas registraron un desarrollo constante en los seis bloques sin que existan diferencias considerables, en tanto el bloque III evidencia la menor altura con 43.3cm en relación al resto de los bloques.

**Figura 8 Incremento de Altura Promedio (cm) en Barreras Vivas de Tuna**



Fuente: Elaboración propia 2006

**Figura 9 Regresión Simple Altura de Tuna vs. Precipitación**



Fuente: Elaboración propia 2006

La relación altura de planta vs. precipitación, determina una correlación moderada de tipo lineal ( $r=0.70$ ) como se aprecia en la Figura 9; de acuerdo al coeficiente de determinación el 49.8% de la altura tuvo dependencia de la precipitación, en tanto 50.2% es atribuible a características propias de esta especie, como ser el sistema radicular extenso y fibrosa lo cual permite aprovechar de mejor manera los elementos nutritivos existentes en el horizonte A del suelo. A ello se suma el requerimiento de agua es mínimo Reynel y León T-2 (1990).

Así mismo mayores cantidades de agua (enero, febrero y marzo) no son aprovechadas por esta especie, puesto que la fisiología de esta planta permite almacenar agua lo cual refleja que a partir de febrero la altura no presenta incrementos considerables en los bloques Figura 8.

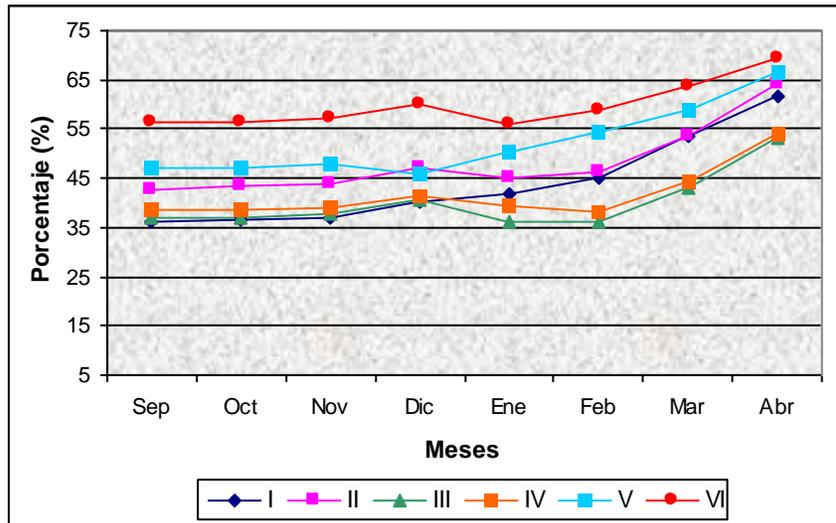
### 5.3.3 Cobertura de las Barreras Vivas

La cobertura vegetal obtenida por ambas especies en la formación de barreras vivas durante el estudio, destacan las plantas de agave con mayor promedio 47.6% frente a un porcentaje menor 30.8% de la tuna, (Anexo 3, Cuadro 5).

**a. Agave**

La evolución porcentual de cobertura durante el estudio, registra hasta el mes de diciembre un promedio de 2.9% de incremento en todos los bloques, a partir de enero hasta la culminación del estudio existe mayor porcentaje de cobertura 15.6%.

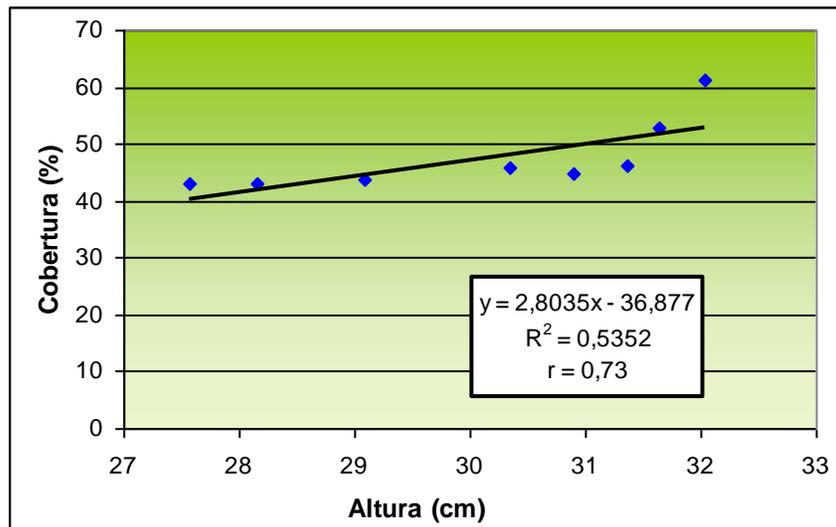
**Figura 10 Cobertura Vegetal (%) de Agave en Barreras Vivas**



Fuente: Elaboración propia 2006

Los resultados del Anexo 3, Cuadro 6 y Figura 10, reflejan un aumento permanente de cobertura vegetal a partir de enero - abril en los seis bloques; destacan los bloques V y VI con mayores coberturas de 66.4% y 69.4%, y menores porcentajes de 53.1% y 54% el bloque III y IV. Aspecto que se atribuye a que las hojas de esta especie se encuentran dispuestas en forma horizontal respecto al eje de la planta.

**Figura 11 Regresión Simple Cobertura de Agave vs. Altura**



Fuente: Elaboración propia 2006

La relación cobertura vegetal y altura de planta, determino una correlación moderada de tipo lineal ( $r=0.73$ ) como se aprecia en la Figura 11; la cobertura de esta especie tiene dependencia 53.5% de la altura de planta, en tanto 46.5% corresponde a la estructura de la planta por la disposición radial de las hojas, el ancho de las mismas y la proyección vertical respecto al suelo.

## **b. Tuna**

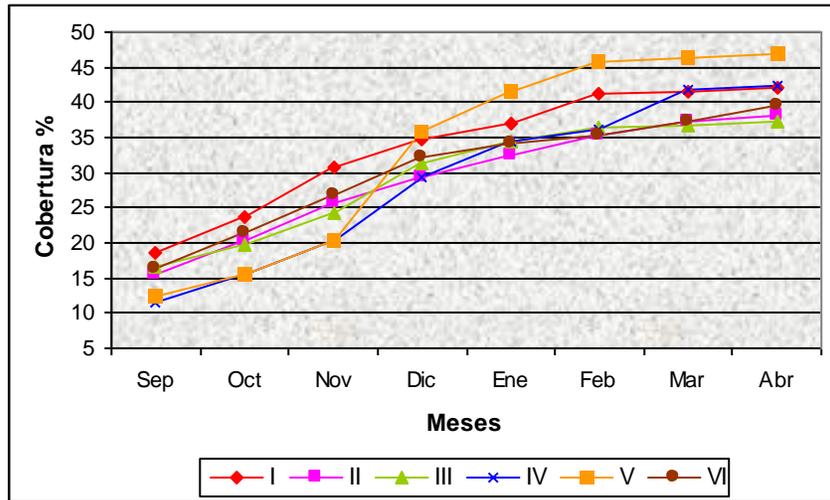
La cobertura alcanzada por esta especie se observa en la Figura 12, (Anexo 3, Cuadro 7); así hasta el mes de febrero obtiene un promedio de 23.2%, y a la conclusión reporta una disminución de 2.7% de cobertura.

La menor cobertura registra el bloque III con 37.3% y contrariamente prevalece el B-V 47% durante el desarrollo del estudio. Así mismo de septiembre a febrero se observa incrementos mayores en todos los bloques respecto a los obtenidos entre febrero y abril donde no existen diferencias considerables Figura 12.

Valores bajos de cobertura de la tuna registrados en comparación al agave, se considera a factores como la disposición irregular (horizontal y vertical) de las hojas

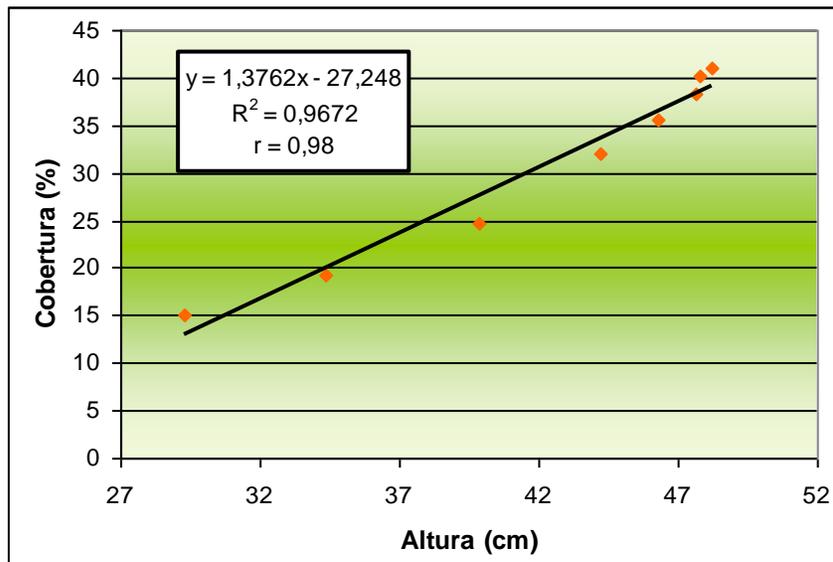
(pencas) respecto al suelo, no despliega una ramificación homogénea y radial como las hojas de agave.

**Figura 12 Cobertura Vegetal (%) de Tuna en Barreras Vivas**



Fuente: Elaboración propia 2006

**Figura 13 Regresión Simple Cobertura de Tuna vs. Altura**



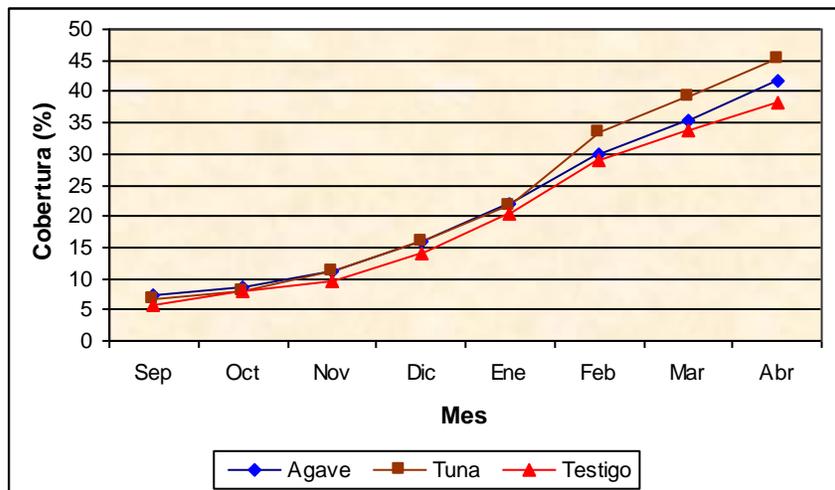
Fuente: Elaboración propia 2006

La relación cobertura vegetal y altura de planta determina una correlación alta de tipo lineal ( $r=0.98$ ) como se aprecia en la Figura 13, de acuerdo al coeficiente de determinación el 96.7% de la cobertura tiene dependencia de la altura de planta.

### 5.3.4 Cobertura de la Vegetación Natural

Los valores promedio de cobertura de la vegetación natural que emergió al interior de las unidades experimentales de agave, tuna y testigo se observa en el Anexo 4, Cuadro 1. Las especies identificadas corresponden a Chiriri (*Sunchus asper* (L.) Hill) y Thunu (*Atriplex semibaccata* R. Brown), se consideró porcentaje de cobertura; el testigo manifestó menor cobertura 19.8% (Anexo 7, Fot. 6, 7, 8) respecto a las parcelas de tuna con mayor cobertura 22.6%.

**Figura 14 Cobertura Natural Promedio de Especies Naturales en Tres Tratamientos (%)**



Fuente: Elaboración propia 2006

El desarrollo de la vegetación natural en las diferentes unidades experimentales se manifiesta en la Figura 14; los tres primeros meses registran valores menores que oscilan de 5.8% (parcela testigo) a 11.0% (parcelas de agave y tuna), aspecto que se atribuye a las bajas precipitaciones registradas en octubre y noviembre, a la conclusión del estudio la mayor cobertura manifiesta la parcela de tuna con 45.3% respecto al testigo con menor porcentaje 38.2%.

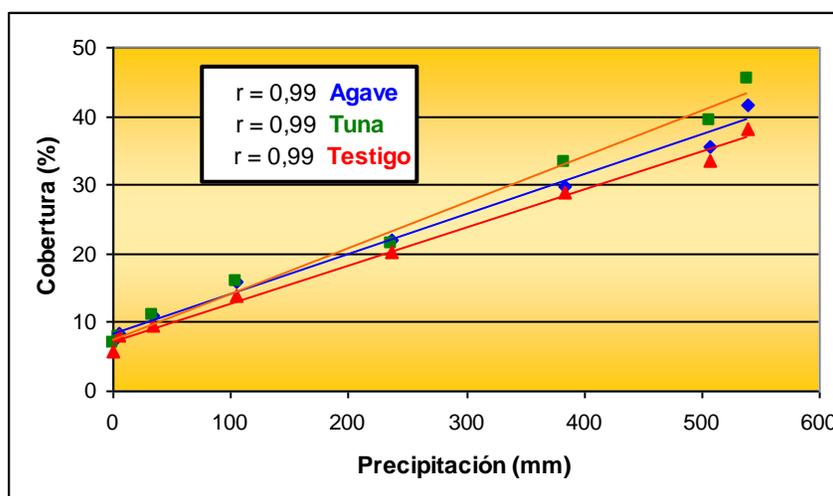
El comportamiento de las especies naturales (Anexo 4, Figuras 1,2,3) en relación a la cobertura: en las parcelas de tuna el B-III registró mayor porcentaje de cobertura

55% y contrariamente el B-II con menor porcentaje 37% a la culminación del estudio. Los dos primeros meses en los seis bloques no existen diferencias considerables de cobertura, pero hasta abril el incremento es de 43% como máximo y mínimo de 27%. En las parcelas de agave el aumento se manifiesta entre octubre y abril, los bloques I, II y III alcanzaron mayores porcentajes 45% y contrariamente el B-V menor cobertura con 35%. Finalmente en las parcelas testigo el B-I alcanzó una cobertura menor de 25% respecto a 43% de los bloques II y VI.

En ese sentido según la escala propuesta por MDSMA (1996), valores de las parcelas de tuna y agave corresponden dentro la categoría B, en tanto porcentajes obtenidos en parcelas del testigo se encuentran en la categoría A y B.

El análisis de correlación cobertura - precipitación, refleja alta correlación de tipo lineal ( $r=0.99$ ) en parcelas de agave, tuna y testigo; en la cual 98.8% de cobertura adquirida por las especies Chiriri y Thunu tienen dependencia de la precipitación registrada durante la época de lluvias octubre - abril, como se aprecia en la Figura 15, (Anexo 4, Figuras 4,5,6) .

**Figura 15 Regresión Simple Cobertura de Especies Naturales vs Precipitación en Tres Tratamientos (%)**



Fuente: Elaboración propia 2006

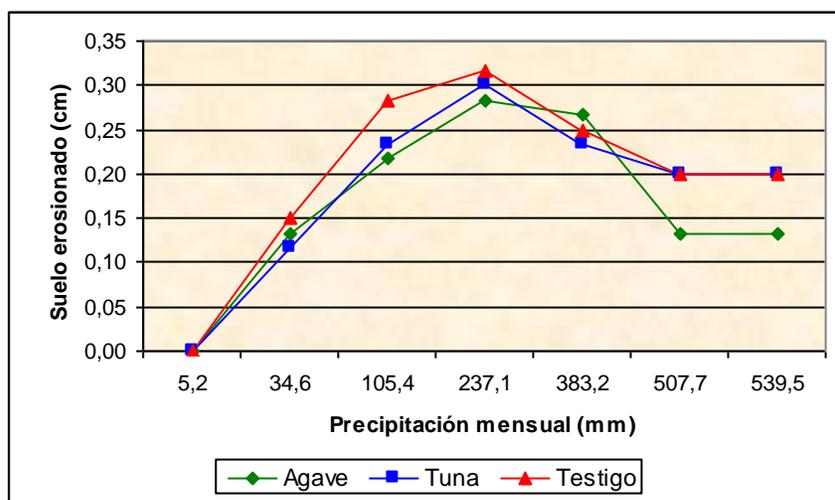
La cobertura vegetal ejerce una barrera en relación a la velocidad de caída de las

gotas de lluvia, de tal manera disipa la energía antes de llegar al suelo y por ende el impacto es menor en la superficie; en ese sentido una cobertura de 25% y 55% registrado en parcelas de agave y tuna, y porcentajes menores a 25% registró en el testigo; dichos valores son catalogados como cobertura regular.

#### 5.4 ESTIMACIÓN DEL GRADO DE EROSIÓN

El promedio de suelo erosionado en los diferentes tratamientos, como efecto de las precipitaciones pluviales entre octubre 2006 a abril 2007 se aprecia en la siguiente figura, (Anexo 5, Cuadro 1, Figura 1,2,3).

**Figura 16 Suelo Erosionado Promedio (cm) Mensual en Tres Tratamientos**



Fuente: Elaboración propia 2006

La mayor frecuencia de lluvias erosivas mayores o iguales a 12.7mm (Orsag, 2003) de precipitación registrado durante 24 horas se aprecia en la Figura 4, enero alcanzó una precipitación de 131.7mm y 5 eventos erosivos en total, así mismo la mayor cantidad de suelo erosionado (Figura 16) se manifiesta en los tres tratamientos, en la cual destaca la parcela testigo con 0.32cm respecto al agave y tuna (0.28 y 0.30cm respectivamente). Marzo presentó una precipitación de 124.5mm con 4 eventos, la pérdida laminar de suelo osciló entre 0.13 a 0.20cm en los mismos tratamientos.

En tanto, menor detrimento de suelo se presentó en noviembre, diciembre y febrero, en dichos meses sucedieron un solo evento de precipitación con características erosivas Figura 4. Así mismo en abril permanece el nivel de erosión, lo cual se atribuye a una menor precipitación y carente de lluvias erosivas registrada.

La cantidad de suelo perdido durante la época de lluvias (Anexo 5, Cuadro 2), y resultados de la erosión hídrica Cuadro 13; la parcela testigo reporto mayor cantidad de suelo erosionado en promedio de 6.65Tn/ha/año en relación a parcelas de agave y tuna; valor que corresponde al Grado de Erosión 2 - categoría Ligera según el MDSMA (1996) y Grado Nula o Ligera (FAO, 1980) por que los valores de erosión son menores a 10Tn/ha/año, erosión Moderada como manifiesta Pacheco (1996) por que la topografía de los suelos del área de estudio se ubican en laderas inclinadas a moderadamente empinadas. Los niveles de erosión obtenidos sobrepasan los límites permisibles de erosión 0.4 Tn/ha/año en áreas sin cultivo Torrez (1981).

**Cuadro 13 Pérdida de Suelo Promedio por Erosión Hídrica**

Tratamiento	Dap gr/cc	Lámina de suelo erosionado (m)	Suelo erosionado Tn/ha/año
Agave	1.33	0.0155	5.54
Tuna	1.33	0.0171	6.10
Testigo	1.33	0.0186	6.65

Fuente: Elaboración propia 2006

La pérdida de suelo en las diferentes unidades es función de la mayor intensidad de lluvia precipitada en 24 horas; la cobertura vegetal de las especies naturales que emergieron mitigan la fuerza de las gotas de lluvia y un mayor impacto en el suelo; por todo ello el incremento de la pérdida de suelo se manifiesta los cuatro primeros meses (0.12 - 0.32cm) los mismos se atribuyen a bajos porcentajes de cobertura (7.8 - 21.8%), (Anexo 4, Figura 1, 2, 3), inversamente existe un descenso de la erosión a niveles de 0.13cm el cual esta relacionado con mayores porcentajes de cobertura desarrollado hasta 45.3%.

También se considera las características físicas del suelo; como ser la textura, donde el porcentaje de arcilla es un indicador de suelos erosionables; por ello el presente estudio reporta una textura franco arcilloso con 34% de arcilla el cual se clasifica como erosionable, por que permanece dentro el rango 9 y 35% de arcilla establecido por Evans (1984).

Contrariamente a lo manifestado por Evans (1984), el porcentaje de arcilla no es el único parámetro para determinar si un suelo es susceptible a la erosión; Mattew (1975) expresa la importancia y presencia de materia orgánica en el perfil del suelo, cual permite que los agregados sean más resistentes a fuerzas destructivas de la intensidad de la lluvia; en ese entendido el bajo contenido de M.O (1.76%) presente en el horizonte superficial del suelo proporciona baja acción en las propiedades físicas del suelo, por consiguiente los agregados estén menos estables y menos resistentes a la fuerza de las gotas de lluvia.

Para determinar la incidencia de la precipitación y cobertura de especies naturales respecto a la erosión del suelo, los valores de correlación respectiva (Anexo 5, Cuadro 3), reflejan resultados de 91, 83 y 76% de los datos de pérdida de suelo se debe a la precipitación por tanto existe una alta correlación (en parcelas de agave, tuna y testigo), así mismo similar comportamiento sucede entre pérdida de suelo y porcentaje de cobertura 81, 80 y 69% en los tres tratamientos respectivamente, dichos valores dependieron inversamente de la cobertura vegetal desarrollada por las especies Chiriri y Thunu, porque protegen al suelo del impacto de las gotas de lluvia (fuerza), el resultado manifiesta la disminución del porcentaje que oscilan de 3 a 10% respecto a lo provocado por la precipitación (Anexo 5, Figura 4,5,6).

Los valores obtenidos son menores a los registrados por Corino (1996), primero porque el ensayo se desarrolló en un terreno en descanso, en tanto el segundo fue con el cultivo de arroz, la precipitación triplica al registrado en el presente estudio, y las pendientes fueron de 30% y 40% por tanto el nivel de erosión es también mayor.

**Cuadro 14 Análisis de Varianza - Erosión Hídrica**

Factor de variación	G.L	S.C	C.M	Fc	Ft (5%)	Ft (1%)	Resultado
Tratamiento	2	0.16	0.08	2.81	4.1	7.56	NS
Bloques	5	0.03	0.01	0.18	3.33	5.64	NS
Error experimental	10	0.29	0.03				
Totales	17						

CV= 13.5 %

El análisis estadístico respecto a la pérdida de suelo resultado de la erosión hídrica Cuadro 14, permite validar los resultados, refleja entre tratamientos y entre bloques las diferencias no son significativas para una prueba de significancia al 1% y 5%.

Calzada (1982), manifiesta que para trabajos de investigación desarrollados en campo el coeficiente de variación (CV), deberá ser menor a 30%, en ese sentido el presente ensayo reporto un CV = 13.5%, lo cual representa un manejo aceptable.

Realizado la comparación de medias a través de la Prueba Diferencia Mínima Significativa (DMS), refleja diferencias estadísticas en la cantidad de lámina de suelo erosionado del testigo respecto al agave y, no así entre el agave y la tuna. (Anexo 6, Cuadro 1).

## CAPÍTULO VI

## CONCLUSIONES

En base a los resultados logrados dentro el presente estudio se llevo a las siguientes conclusiones:

### **Características del Clima y Suelo:**

- Las características climáticas, precipitación 539.5mm/año y temperatura 11.8°C, se encuentran enmarcados dentro los parámetros establecidos por Reynel y León T-2 (1990) para el establecimiento de las especies forestales agave, tuna y retama.
- La erosividad de las lluvias esta determinado por su intensidad, por ello dicho parámetro se estimo considerando la precipitación más alta durante 24 horas, registrándose 12 días con valores superiores a 12.7mm catalogado como lluvias erosivas.
- Las condiciones físicas del suelo en estudio: pendiente 31%, textura franco arcilloso, porcentaje de grava 36.8%, profundidad efectiva de 40cm, materia orgánica 1.76 - 2.05% y altitud de 3.100 msnm, son factores que permiten el establecimiento de las tres especies agave, retama y tuna.
- Las características químicas del suelo presenta: pH neutro a débilmente alcalino con valores de 6.82 y 7.08, coadyuvan en la implementación y desarrollo como barreras vivas del agave y tuna, dichos parámetros se encuentran en los rangos establecidos por Reynel y León T-2 (1990).
- Contenidos bajos a moderados de MO, N, CIC, CE y P, se hallan dentro las condiciones establecidas para algunos suelos agrícolas destinados para la producción de cultivos; aspectos que favorecieron al momento de la implementación y desarrollo de las especies como barreras vivas.

### **Evaluación de Tres Especies Forestales:**

- El porcentaje de prendimiento de las tres especies, el agave y la tuna registraron mayor porcentaje 99% y 95% respectivamente, respecto a la retama, este último lamentablemente no cumplió los objetivos trazados porque fue diezmado por la Viscacha mamífero que habita en la zona de estudio.
- La dinámica de crecimiento en altura de las dos especies: se concluye que 49.8% de la altura alcanzada por la tuna (42.2cm promedio) está influenciada por la precipitación, en el caso del agave el desarrollo logrado (30.1cm promedio) se atribuye 38.9% a las lluvias; pero porcentajes de 61.1% y 70% de altura obtenidas (agave, tuna) es influencia de las características propias de ambas especies.
- La relación cobertura vegetal y altura de planta en la formación de barreras vivas: el mayor porcentaje de cobertura alcanzado por el agave (73%) es resultado de la estructura propia de la planta, es decir la disposición radial de las hojas, en cambio 53.5% está influenciado por la altura de esta especie; en cambio en el caso de la tuna 96.7% de la cobertura depende de la altura de planta y 98% se atribuye a la disposición de la planta. Resultado de todo ello, destaca el agave con 47.6% y los mayores incrementos se registraron los cuatro últimos meses, en relación a la tuna 30.8% alcanzan porcentajes elevados hasta el mes de febrero.

### **Vegetación Natural:**

- La cobertura vegetal fue resultado de las especies identificadas Chiriri (*Sunchus asper* (L.) Hill) y Thunu (*Atriplex semibaccata* R. Brown) que emergieron durante el estudio; mitigan la caída de las gotas de lluvia sobre el suelo y su incidencia en la erosión, por ello la unidad testigo registró bajos porcentajes 19.8% en promedio y mayor cantidad de suelo perdido 1.40cm,

inversamente las parcelas de agave y tuna presentaron 21.4 y 22.6% de cobertura y su efecto fue menor en la pérdida de suelo 1.17 y 1.28cm respectivamente.

La correlación cobertura - precipitación, expresa que 99% de la cobertura de ambas especies es influenciado por las precipitaciones sucedidas a partir de octubre - abril.

### **Erosión Hídrica:**

- Finalmente la pérdida de suelo, permite cuantificar el grado de erosión resultado de las precipitaciones, en ese sentido la unidad testigo presentó la mayor cantidad de suelo erosionado con 6.65Tn/ha/año, niveles menores registraron las parcelas de agave y tuna 5.54 y 6.10Tn/ha/año respectivamente, valores que corresponden al grado de erosión 2 y categoría ligera (MDSMA, 1996).
  
- Los niveles de erosión alcanzados es resultado de las características de: la mayor frecuencia de lluvias erosivas en enero; porcentaje de arcilla 34% en el horizonte A del suelo; bajo contenido en materia orgánica (1.76%) y por tanto agregados menos estables y topografía inclinada, todo ello incide para que los valores obtenidos superen los límites permisibles de erosión hídrica en áreas de cultivo 0.4Tn/ha/año. Estadísticamente existe diferencias entre la parcela testigo frente al agave y tuna.

## CAPÍTULO VII

## RECOMENDACIONES

- Replicar la experiencia del presente estudio, ya que fue preliminar pero combinando con obras físicas para la formación de terrazas, destinados para la producción agrícola y establecer de tal manera el comportamiento de dichas especies bajo riego.
- En zonas con características ecológicas similares, es necesario establecer una estación meteorológica, la cual permita registrar datos de intensidad de lluvia de varios años para así determinar el grado de erosividad.
- Cuantificar los nutrientes que disminuyen como efecto de la erosión hídrica en condiciones topográficas similares, por su importancia para la producción agrícola.
- Considerar ensayos al respecto con más de 3 años de implementación, lo cual permita obtener mayor correlación entre el comportamiento de estas especies u otras en la formación de barreras vivas y el grado de erosión.
- Finalmente se recomienda concientizar a la población en comunidades que disponen de estos materiales vegetales agave, tuna y retama para implementar esta práctica de conservación de suelos, la cual no requiere mayor trabajo alguno en relación a otras prácticas de conservación de suelos como la construcción de terrazas con piedra.

## CAPÍTULO VIII

## LITERATURA CITADA

**BAVER L.D. et al., 1980.** Física de suelos. Uteha, México. 165 – 173, 180 – 184 pp.

**BISAL, F., 1960.** The effect of raindrop size and impact velocity on sand splash, citado por Evans en erosión de suelos. 146 pp.

**BROCKMAN, C.E., 1986.** Perfil Ambiental de Bolivia. A.I.P., La Paz, Bolivia. 166 pp.

**CALZADA, J., 1982.** Métodos estadísticos para la investigación. Editorial Jurídica. Tercera edición. Lima – Perú. 643 pp.

**CIASER - GEOBOL., 1988.** Recursos Naturales del Departamento de La Paz

**CORINO, R., 1996.** Efecto de las lluvias en la erosión de suelos cultivados con arroz (*Oryza sativa*) en la localidad de Alto Beni. Tesis de grado para optar licenciatura en ingeniería agronómica, Facultad de Agronomía, Universidad Mayor de San Andrés. La Paz – Bolivia. 117 pp.

**CHILÓN, E.C., 1994.** Estudio de base y de preinversión para el desarrollo de la tercera sección Provincia Sud Yungas (Yanacachi). Proyecto: Conservación de suelos y terrazas agrícolas. Fundación pueblo Yanacachi – Sud Yungas. Tomo I. Diagnóstico, La Paz – Bolivia. 225 pp.

\_\_\_\_\_ **1995.** Módulo: Manejo y conservación de suelos y agua. CIDES - UMSA, Facultad de Agronomía. La Paz - Bolivia.

**DISPONIBLE, 2006.** <http://pegasus.ucla.edu./bioagro>

**DISPONIBLE, 2006.** <http://www.chapingo.mx>

**DOUROJEANI, A., 1985.** La Ecuación Universal de Pérdida del Suelo y su aplicación al Planeamiento del Uso de las Tierras Agrícolas. Estudio del factor de las lluvias en el Perú, International Irrigation Center. UTA – USA. 78 pp.

**ELLISON, 1944.** Studies of raindrop erosion, citado por Evans en erosión de suelos. 147 pp.

**EVANS, R., 1984.** Mecanismos de la erosión hídrica y sus controles espaciales y temporales. 142; 149 – 151 pp.

**FAO, 1977.** Guía para la descripción de perfiles. Roma – Italia. 67 pp.

\_\_\_\_\_. **1978.** El suelo. Como conservar el suelo. Serie mejores cultivos N° 5. FAO – Roma. 29 pp.

\_\_\_\_\_. **1980.** Conservación de suelos y aguas. Comité de Agricultura de la FAO. Roma. 18 pp.

\_\_\_\_\_. **1983.** Mantengamos viva la tierra: causas y remedios de la erosión del suelo. Boletín de suelos FAO, N° 50. Roma. 79 pp.

\_\_\_\_\_. **1984.** Proteger y producir, conservación del suelo para el desarrollo. Roma – Italia. 6 – 7 pp.

\_\_\_\_\_. **1988.** Sistemas de labranza para la conservación del suelo y del agua. Boletín de suelos N° 54. Roma. 13 pp.

**FIERRO, L., 1980.** Manual de métodos de muestreo de vegetación. Instituto nacional de investigaciones pecuarias INIP – SARH. Serie técnico científica Vol. 1 N° 1. México. 102 pp.

- FOURNIER, F., 1975.** Conservación de suelos. Editorial Mundi – Prensa, Madrid – España. 246 pp.
- GUTIERREZ, E., 1997.** Revista de agricultura N° 29. UMMS – Facultad de Ciencias Agrícolas y Pecuarias - Martín Cárdenas, Cochabamba-Bolivia. 16-19 pp.
- GROVER, L., 1974.** Erosion and Bolivia's future. Soils and fertilizer advisor – USU Contract Team – USAID/B, Series 31. 10 pp.
- HATAKEDA, A., 1991.** La Tuna – Cochinilla. Proyecto de promociones de exportaciones USAID/BOLIVIA, La Paz – Bolivia. 53 – 57 pp.
- INE. 2001.** Censo Nacional de Población y Vivienda.
- KIRBY, M. J., 1993.** Erosión de suelos. Limusa, México.
- KIRKBY, M. J y MORGAN, R.P.C., 1984.** Erosión de suelos. Primera edición. Editorial Limusa S.A, México. 375 pp.
- LITTLE, T, y HILLS. J., 1976.** Métodos estadísticos para la investigación en la agricultura. Primera edición, Editorial Trillas, México. 268 pp.
- LLERENA, C., 1986.** Uso de varillas de erosión para medir erosión hídrica. Dpto. Manejo Forestal UNALM – Perú.10 pp.
- MACHADO, D., 1983.** Bolivia – Actividades forestales y agrosilviculturales. FAO, Roma – Italia.
- MATTEUCCI S et al., 1982.** Metodología para el estudio de la vegetación. OEA, Washington, D.C. 44 – 46 pp.

- MATTEW, D. 1975.** Suelos de las regiones tropicales húmedas.
- MDSMA., 1996.** Dirección de Conservación de Tierras. Mapa preliminar de erosión de suelos, región árida, semiárida y subhúmeda seca de Bolivia, La Paz - Bolivia. 10 - 11, 14 - 17 pp.
- MONTALDO, P., 1982.** Agroecología del trópico americano. Ed. IICA. San José - Costa Rica. 136 pp.
- MONTES DE OCA., 1982.** Geografía y recursos naturales de Bolivia.
- MORALES, C., 1990.** Bolivia: Medio ambiente y ecología aplicada. Instituto de Ecología, La Paz – Bolivia. 303 pp.
- MUSGRAVE, W., 1954.** Estimating land erosion, citado por Evans en erosión de suelos. 155 - 156 pp.
- NEAL, J., 1938.** The effect of the degree of slope and rainfall characteristics on runoff and soil erosion, citado por Baver et al. 480 pp.
- OJEDA, O.D., 1976.** Manual para la Interpretación de Análisis de Suelos. Guanomex 1970 – 76, Tomo V, México.
- ORSAG, V., 2003.** Manejo y conservación de suelos. UMSA – Facultad de Agronomía, La Paz – Bolivia. 27 – 32, 48 – 49, 50 -55 pp.
- PACHECO, A., 1996.** Plan rector de andenes y terrazas para el altiplano boliviano. Unidad Operativa Boliviana (UOB) – Programa Internacional de Investigación, Validación y Capacitación de Suka Kollus (PROSUKO). 36 – 37 pp.

**PRITCHETT, W.L., 1991.** Suelos forestales. Propiedades, conservación y mejoramiento. Ed. Limusa. 634 pp.

**PROCIANDINO, 1995.** Seminario: La erosión, manejo y conservación de suelos de ladera en la Subregión Andina. Convenio IICA/BID ATN-SF- 4830 - RG, Lima – Perú.

**PROMIC, 1994.** Técnicas de conservación de suelos y su efecto en la productividad agrícola – Cuenca Taquiña. Programa manejo integral de cuencas Prefectura – Cosude, Cochabamba – Bolivia.

**QUIROGA, V., 1979.** Manual práctico para el análisis de experimento de campo. Centro de documentación, información y comunicación agrícola, San José Costa Rica. 53 – 58 pp.

**REYNEL, C. y LEON J., 1990.** Árboles y arbustos andinos para agroforestería y conservación de Suelos. Tomo 1, Proyecto FAO/Holanda/DGFF, Perú. 34 – 37, 66 – 71 pp.

\_\_\_\_\_. **1990.** Árboles y arbustos andinos para agroforestería y conservación de suelos. Tomo 2, Proyecto FAO/Holanda/DGFF, Perú. 37 – 41, 197 – 201, 305 – 309 pp.

**ROOSE, E., 1973.** Erosion et Ruisellement en Afrique de l' Ouest. Vingt annees de mesures en petites parcelles expérimentales. Orstom, Paris, France. 110 pp.

**SEAPAS., 1996.** Diagnóstico agroecológico del Cantón Cohoni – Chanca. Provincia Murillo, La Paz – Bolivia.

**SHENG, T.C., 1990.** Conservación de suelos para los pequeños agricultores en zonas tropicales húmedas. Boletín FAO N° 60. 187 pp.

**SOETERS, R., 1974.** Apuntes sobre clases de geomorfología. Copia del texto del C.I.A.F., Colombia. 81 pp.

**SUAREZ DE CASTRO F., 1980.** Conservación de suelos. 3ra. Edición. Matilde de la Cruz, 3ra ed. IICA, Libros y Materiales educativos N° 37, San José – Costa Rica.

**TORREZ E., 1981.** Manejo y conservación de suelos agrícolas. Editorial Diana, México. 45 – 51 pp.

**TORRICO G. et al., 1994.** Leñosas útiles de Potosí. Proyecto FAO/Holanda/CDF, Potosí – Bolivia. 41 – 42, 281 – 283, 397 – 398 pp.

**VILLARROEL, J., 1988.** Manual Practico para la Interpretación de Análisis de Suelos en Laboratorio. AGRUCO, Serie Técnica No 10, Cochabamba – Bolivia. 6 – 14, 22 – 32 pp.

**WISCHMEIER y SMITH., 1965.** Predicting rainfall erosion from cropland east of rocky mountains. 165 pp.

**ZINGG, A., 1940.** Degree and length of land slope as it effects soil loss, citado por Baver et al. 481-482 pp.

ANEXOS

# 1. PRECIPITACIÓN PLUVIAL

**Cuadro 1 Precipitación en mm. 2006-2007**

Comunidad	Luquicachi	Latitud Sur	16° 43' 40"
Cantón	Cohoni	Longitud Oeste	67° 50' 08"
Provincia	Murillo	Altitud	3.100 msnm

MES	O	N	D	E	F	M	A
1				17.2	12.6	17.5	
2				16.1		2.1	
3				9.0	6.2	1.5	
4					8.5	8.5	
5				1.0		6.0	7.9
6			2.0	2.2	12.2	6.2	8.6
7					12.6	4.9	
8		17.1		1.0	3.1	20.5	
9			9.3	0.3			
10					0.3		3.2
11				2.0		2.0	
12	5.2				0.4	14.2	5.7
13					5.8	3.5	6.4
14					7.0	1.9	
15					21		
16				0.4	8.5		
17		9.3			30.7		
18			1.3	7.2	2.1		
19				7.4			
20				2.5	3.3		
21				4.8			
22			2.1	4.3			
23			1.0			10.2	
24			15.0		5.4		
25							
26							
27			9.2	15.5	2.9	7.9	
28				18.0	3.5	13.6	
29			8.2				
30		3.0	5.7				
31			2.0	21.8			
<b>TOTAL/mes</b>	<b>5.2</b>	<b>29.4</b>	<b>70.8</b>	<b>131.7</b>	<b>146.1</b>	<b>124.5</b>	<b>31.8</b>
<b>TOTAL</b>	<b>539.5</b>						

## 2. PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL SUELO

### Cuadro 1 Interpretación Resultados de Laboratorio

Lugar: Comunidad Luquicachi  
Horizonte: A  
Profundidad: 0 - 20cm

<b>Parámetro</b>	<b>Unidad</b>	<b>Resultado</b>	<b>Interpretación</b>
Arcilla	%	34	
Textura		FY	Franco arcilloso
Grava	%	36.8	
Carbonatos libres	s.u	A	Ausente
PH en agua	s.u	6.82	Neutro
Conductividad eléctrica	mmhos/cm	2.12	Moderadamente Salino
Calcio	meq/100gr	6.08	Moderado
Magnesio	meq/100gr	5.06	Alto
Sodio	meq/100gr	1.52	Alto
Potasio	meq/100gr	0.20	Bajo
Cap. de intercambio	meq/100gr	12.87	Moderado
Materia Orgánica	%	1.76	Bajo
Nitrógeno Total	%	0.14	Moderado
Fósforo asimilable	ppm	4.42	Bajo

### Cuadro 1a

Lugar: Comunidad Luquicachi  
Horizonte: Bw  
Profundidad: 20 – 35cm

Parámetro	Unidad	Resultado	Interpretación
Arcilla	%	39	
Textura		FY	Franco arcilloso
Grava	%	24.8	
Carbonatos libres	s.u	P	Presente
PH en agua	s.u	7.08	Neutro
Conductividad eléctrica	mmhos/cm	6.02	Fuertemente Salino
Calcio	meq/100gr	5.64	Moderado
Magnesio	meq/100gr	5.79	Alto
Sodio	meq/100gr	10.82	Muy Alto
Potasio	meq/100gr	0.38	Moderado
Cap. de intercambio	meq/100gr	22.67	Moderado
Materia Orgánica	%	2.05	Bajo
Nitrógeno Total	%	0.19	Alto
Fósforo asimilable	Ppm	1.64	Muy Bajo

## ANALISIS FISICO-QUIMICO DE SUELOS

INTERESADO: **MARIO GOITIA**  
 PROCEDENCIA: **Dpto. LA PAZ, Prov. MURILLO**

FECHA DE RECEPCION: **18/ octubre/2006**  
 FECHA DE ENTREGA: **3/ noviembre/2006**

N° Lab.	CODIGO	Arena %	Arcilla %	Limo %	Clase Textural	Grava %	Cubo ratos Libros	pH en agua 1:5	pH en KCL 1N 1:5	C.E. mmbáscm 1:5	CATIONES DE CAMBIO (meq/100 gr.)							SAT. Ect. %	M.O. %	N TOTAL %	P Adsorbible ppm
											Al+H	Ca	Mg	Na	K	TBI	CC				
11506	H.A. 0-20 cm	28	34	38	FY	36.8	A	6.82	6.46	0.331	0.025	6.08	5.16	1.517	0.20	12.84	12.87	99.8	1.76	0.14	4.42
11606	H.Bw. 20-35 cm	34	39	27	FY	24.8	P	7.08	6.52	0.552	0.042	5.64	5.79	10.818	0.38	22.63	22.67	99.8	2.05	0.19	1.64
11706	H.C. 35-45 cm	22	42	36	Y	23.4	P	7.02	6.81	0.947	0.038	9.61	4.11	6.579	0.40	20.71	20.74	99.8	0.64	0.09	5.45

**OBSERVACIONES.-**  
 Cationes de cambio extraídos con:  
 Sodio, lavado con alcohol y extraído con Acetato de Amonio 1 N.  
 Calcio, Magnesio y potasio extraídos con Acetato de Amonio 1 N, excepto:  
 Calcio y Magnesio extraídos con Acetato de Sodio 1 N.  
 Fósforo analizado con el método de Bray-Kurtz (II).

**CARBONATOS LIBRES**  
 A Ausente  
 P Presente  
 PP Presente en gran cantidad

**CLASE TEXTURAL**  
 F Franco  
 L Limoso  
 A Arenoso

Y : Arcilloso  
 YA : Arcilloso Arenoso  
 FYA : Franco Arcilloso Arenoso

FA : Franco Arenoso  
 AF : Arenoso Franco  
 FY : Franco Arcilloso

YL : Arcilloso Limoso  
 FYL : Franco Arcilloso Limoso  
 FL : Franco Limoso



*[Handwritten signature]*

RESPONSABLE DE LABORATORIO  
 JOSE CERRONERA C.

**MINISTERIO DE PLANIFICACION DEL DESARROLLO**

INSTITUTO BOLIVIANO DE CIENCIA Y TECNOLOGIA NUCLEAR  
CENTRO DE INVESTIGACIONES NUCLEARES  
DIVISION DE APLICACIONES ISOTOPICAS EN LA AGRICULTURA

## ANALISIS FISICO DE SUELOS

INTERESADO : MARIO GOTTIA  
PROCEDENCIA : Dpto. LA PAZ, Prov. MURILLO

FECHA DE RECEPCION : 28/abril/2007  
FECHA DE ENTREGA : 11/mayo/2007

Nº Lab.	CODIGO	Densidad Aparente g/ml
53 /07	Cilindro 1d	1.33

  
RESPONSABLE DE LABORATORIO  
JORGE CHONGARA C.



### **3. BARRERAS VIVAS**

**Cuadro 1 Porcentaje de Prendimiento de Tres Especies Forestales en la Implantación de Barreras Vivas**

Especie	Bloques						Promedio %
	I	II	III	IV	V	VI	
Agave	97	100	100	96	100	100	99
Retama	80	82	85	76	80	75	80
Tuna	100	92	90	94	95	100	95

**Cuadro 2 Altura Promedio de Agave y Tuna en Barreras Vivas (cm)**

Tratamiento	Bloques						Promedio cm
	I	II	III	IV	V	VI	
Agave	31.9	29.4	27.2	29.5	30.4	32.2	<b>30.1</b>
Tuna	40.6	44.2	38.1	42.6	44.8	43.0	<b>42.2</b>

**Cuadro 3 Altura Promedio Plantas de Agave en Barreras Vivas (cm)**

Meses	Bloques					
	I	II	III	IV	V	VI
Septiembre	28,9	26,4	24,7	27,5	28,2	29,7
Octubre	29,7	27,1	25,1	28	28,6	30,4
Noviembre	31	28,1	26,1	28,6	29,4	31,3
Diciembre	32,2	29,6	27,5	29,5	30,7	32,6
Enero	32,7	30,3	27,9	30,1	31,3	33,1
Febrero	33,2	30,9	28,5	30,6	31,6	33,4
Marzo	33,6	31,4	28,8	30,7	31,8	33,5
Abril	34,1	31,8	29,2	31,1	32,2	33,8
<b>Promedio</b>	<b>31,9</b>	<b>29,4</b>	<b>27,2</b>	<b>29,5</b>	<b>30,4</b>	<b>32,2</b>

**Cuadro 4 Altura Promedio Plantas de Tuna en Barreras Vivas (cm)**

Meses	Bloques					
	I	II	III	IV	V	VI
Septiembre	29,5	33	28,1	28,1	28,8	28,1
Octubre	33,9	39,6	30,9	36,7	33,1	31,9
Noviembre	39	45,4	36,3	41,8	37,4	39,2
Diciembre	41,6	46,5	38,3	45,5	47,4	45,9
Enero	44,1	46,8	41,9	46,6	50,1	48,2
Febrero	45,3	47,2	42,8	47,1	53,5	49,8
Marzo	45,5	47,3	42,9	47,1	53,7	50
Abril	45,8	47,7	43,3	47,7	54,3	50,6
<b>Promedio</b>	<b>40,6</b>	<b>44,2</b>	<b>38,1</b>	<b>42,6</b>	<b>44,8</b>	<b>43,0</b>

**Cuadro 5 Cobertura Vegetal en Barreras Vivas (%)**

Tratamiento	Bloques						Promedio %
	I	II	III	IV	V	VI	
Agave	43.9	48.2	40	41.7	52.1	59.7	<b>47.6</b>
Tuna	33.7	29.3	29.6	28.9	33.1	30.3	<b>30.8</b>

**Cuadro 6 Cobertura Promedio Plantas de Agave en Barreras Vivas (%)**

Meses	Bloques					
	I	II	III	IV	V	VI
Septiembre	36,1	42,7	37	38,4	46,9	56,3
Octubre	36,4	43,3	37	38,4	46,9	56,4
Noviembre	36,9	43,9	37,6	39,1	47,7	57,3
Diciembre	40,1	47	40,6	41,4	45,7	60,1
Enero	41,9	44,9	36	39,4	50,3	56
Febrero	45	46,1	36	38	54,3	58,7
Marzo	53,4	53,7	42,9	44,4	58,9	63,6
Abril	61,7	63,9	53,1	54	66,4	69,4
<b>Promedio</b>	<b>43.9</b>	<b>48.2</b>	<b>40.0</b>	<b>41.7</b>	<b>52.1</b>	<b>59.7</b>

**Cuadro 7 Cobertura Promedio Plantas de Tuna en Barreras Vivas (%)**

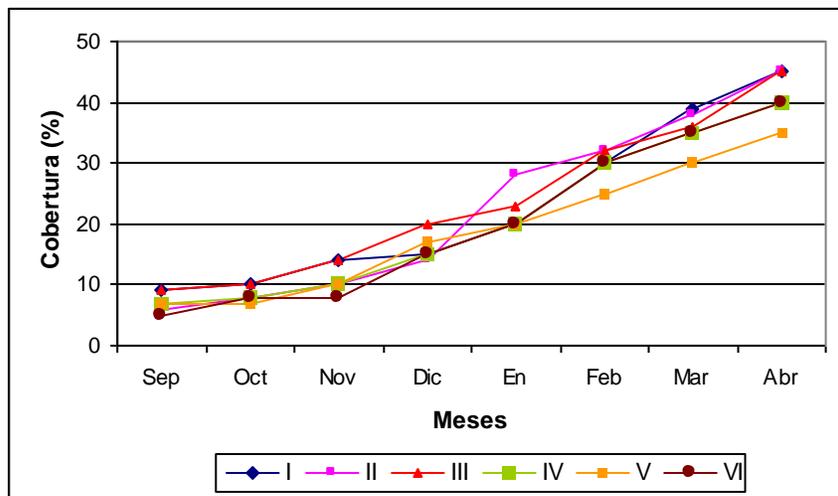
<b>Meses</b>	<b>Bloques</b>					
	<b>I</b>	<b>II</b>	<b>III</b>	<b>IV</b>	<b>V</b>	<b>VI</b>
Septiembre	18,7	15,4	16,6	11,5	12,4	16,3
Octubre	23,8	20,3	19,6	15,5	15,5	21,3
Noviembre	30,8	25,8	24,3	20,4	20,4	26,7
Diciembre	34,7	29,2	31,3	29,4	35,8	32,2
Enero	37	32,5	34,3	34,3	41,6	34,1
Febrero	41,2	35,4	36,4	36,2	45,7	35,4
Marzo	41,6	37,3	36,8	41,8	46,2	37,3
Abril	42	38,2	37,3	42,4	47	39,4
<b>Promedio</b>	<b>33.7</b>	<b>29.3</b>	<b>29.6</b>	<b>28.9</b>	<b>33.1</b>	<b>30.3</b>

## 4. VEGETACIÓN NATURAL

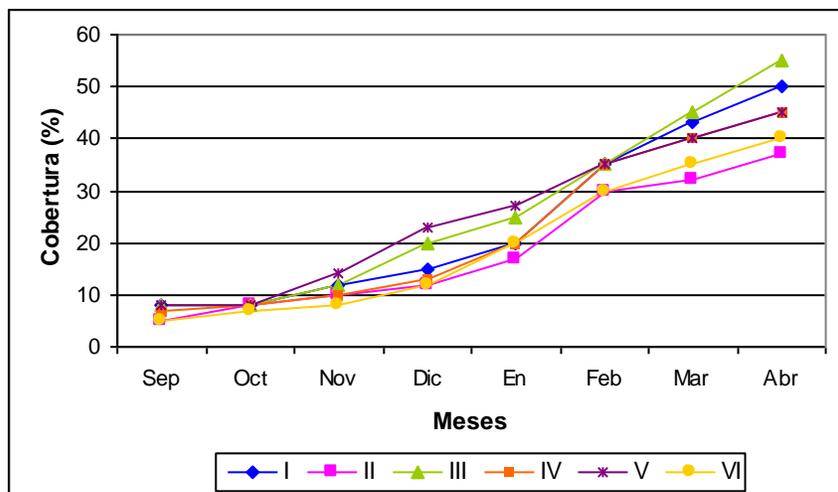
**Cuadro 1 Cobertura Vegetal de Especies Naturales (%)**

Tratamiento	Bloques						Promedio %
	I	II	III	IV	V	VI	
Agave	22.8	22.6	23.6	20.6	18.9	20.1	<b>21.4</b>
Tuna	23.9	18.9	26	22.3	25	19.6	<b>22.6</b>
Testigo	13.5	22.3	20.5	20.8	19.1	22.8	<b>19.8</b>

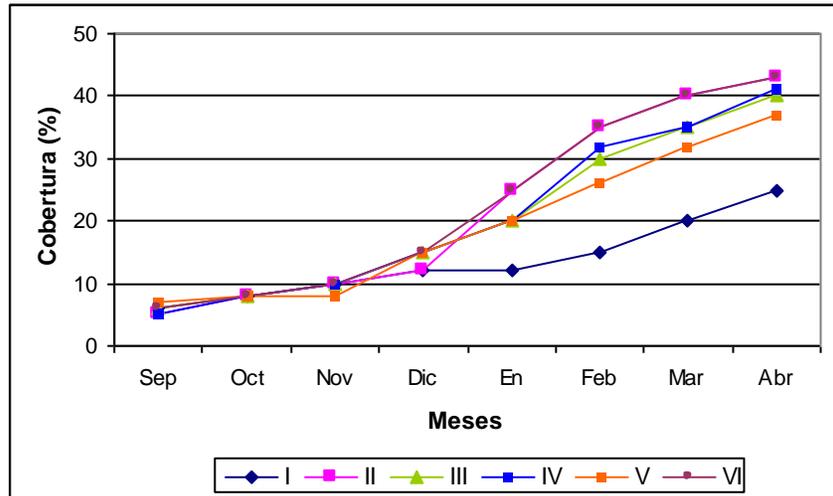
**Figura 1 Cobertura Vegetal (%) de Especies Naturales en Parcelas de Agave**



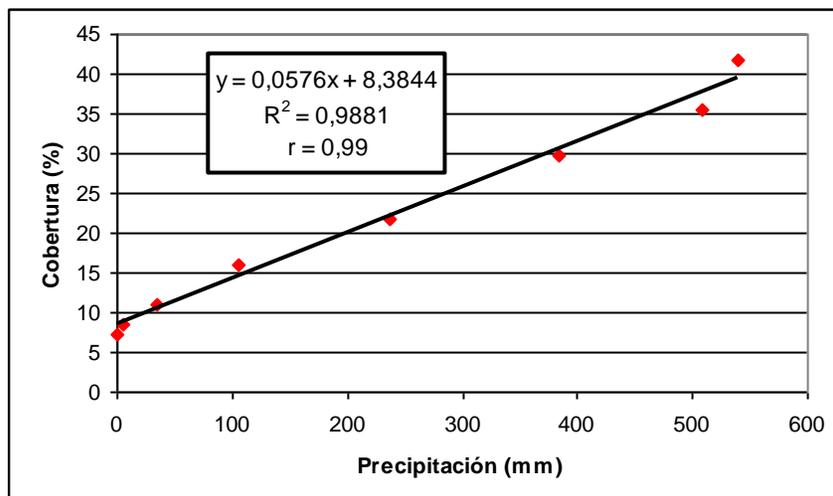
**Figura 2 Cobertura Vegetal (%) de Especies Naturales en Parcelas de Tuna**



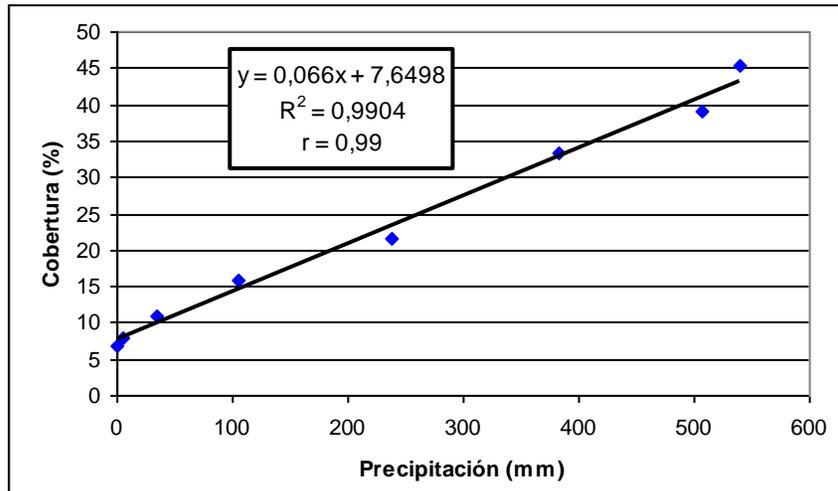
**Figura 3 Cobertura Vegetal (%) de Especies Naturales en Parcelas Testigo**



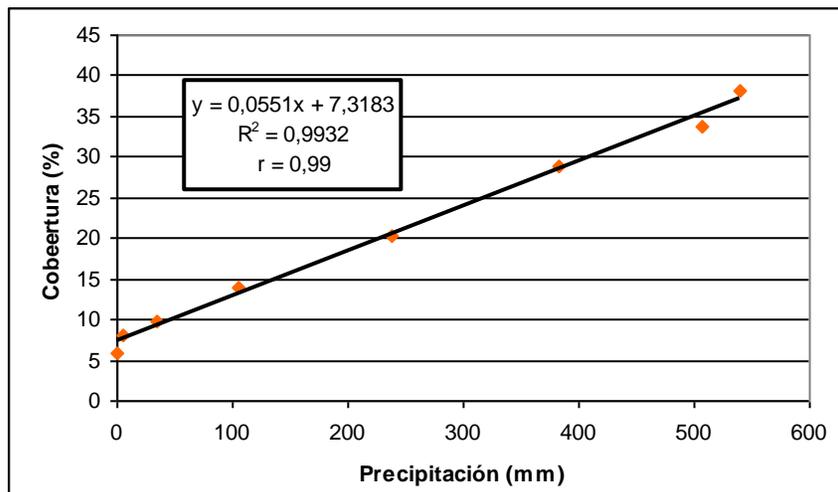
**Figura 4 Regresión Simple Cobertura de Especies Naturales vs. Precipitación. Agave**



**Figura 5 Regresión Simple Cobertura de Especies Naturales vs. Precipitación. Tuna**



**Figura 6 Regresión Simple Cobertura de Especies Naturales vs. Precipitación. Testigo**



## 5. PÉRDIDA DE LÁMINA DE SUELO

**Cuadro 1 Promedio de Suelo Erosionado (cm) por Tratamiento**

Tratamiento	Bloques						Promedio cm
	I	II	III	IV	V	VI	
Agave	1.0	1.0	1.2	1.3	1.3	1.2	<b>1.17</b>
Tuna	1.2	1.5	1.2	1.3	1.2	1.3	<b>1.28</b>
Testigo	1.6	1.3	1.4	1.2	1.6	1.3	<b>1.40</b>

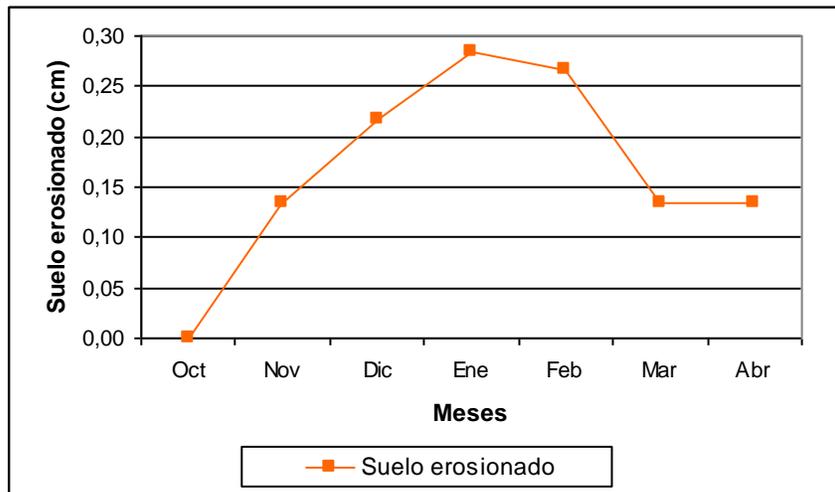
**Cuadro 2 Suelo Erosionado por Tratamiento Tn/ha/año**

Mes	Lámina de suelo perdido (m)	Agave Tn/ha/año	Lámina de suelo perdido (m)	Tuna Tn/ha/año	Lámina de suelo perdido (m)	Testigo Tn/ha/año
Octubre	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Noviembre	0.0018	0.63	0.0016	0.55	0.0020	0.71
Diciembre	0.0029	1.03	0.0031	1.11	0.0038	1.35
Enero	0.0038	1.35	0.0040	1.43	0.0042	1.50
Febrero	0.0035	1.27	0.0031	1.11	0.0033	1.19
Marzo	0.0018	0.63	0.0027	0.95	0.0027	0.95
Abril	0.0018	0.63	0.0027	0.95	0.0027	0.95
<b>Total</b>	<b>0.0117</b>	<b>5.54</b>	<b>0.0128</b>	<b>6.10</b>	<b>0.0140</b>	<b>6.65</b>

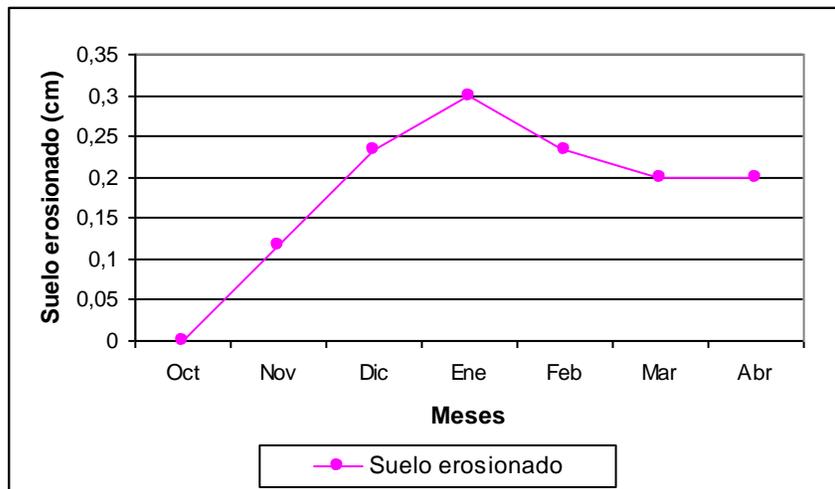
**Cuadro 3 Valores de Regresión Suelo Erosionado vs Precipitación y Cobertura de Especies Naturales en Tres Tratamientos**

Tratamiento	Suelo erosionado vs Precipitación		Suelo erosionado vs Cobertura	
	R2	r	R2	r
Agave	R2 = 0.907	r = 0.95	R2 = 0.811	r = 0.90
Tuna	R2 = 0.835	r = 0.91	R2 = 0.802	r = 0.89
Testigo	R2 = 0.765	r = 0.87	R2 = 0.692	r = 0.83

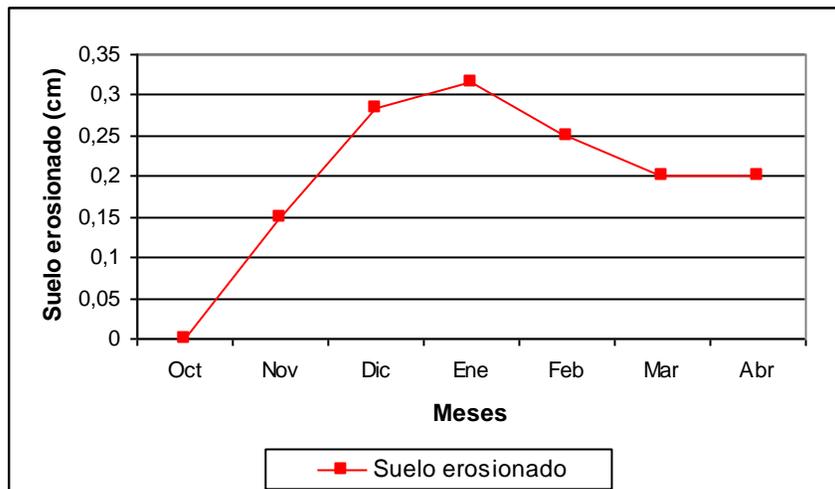
**Figura 1 Comportamiento de la Erosión Hídrica (cm) en Parcelas de Agave**



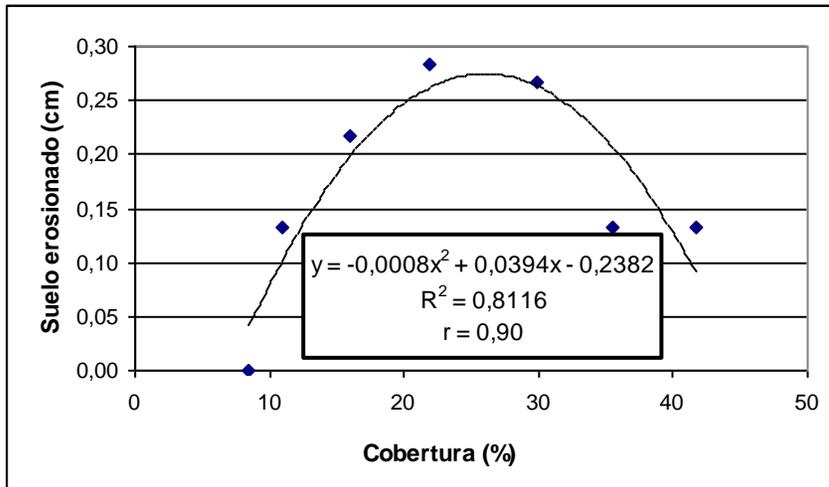
**Figura 2 Comportamiento de la Erosión Hídrica (cm) en Parcelas de Tuna**



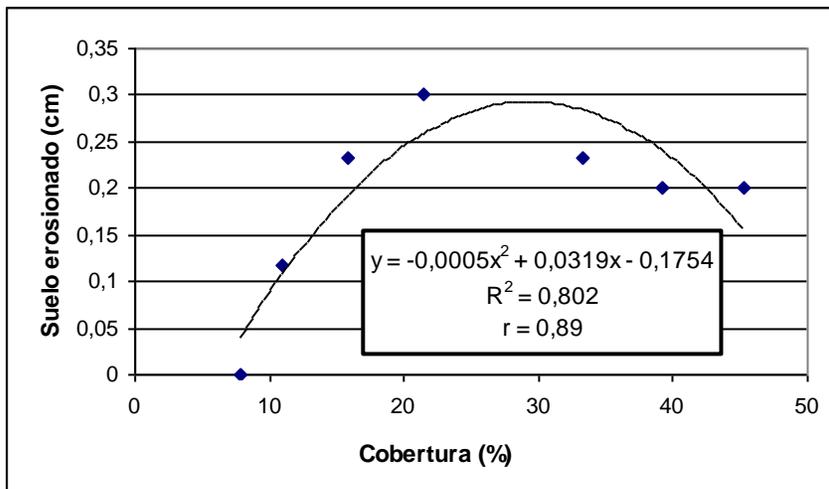
**Figura 3 Comportamiento de la Erosión Hídrica (cm) en Parcelas Testigo**



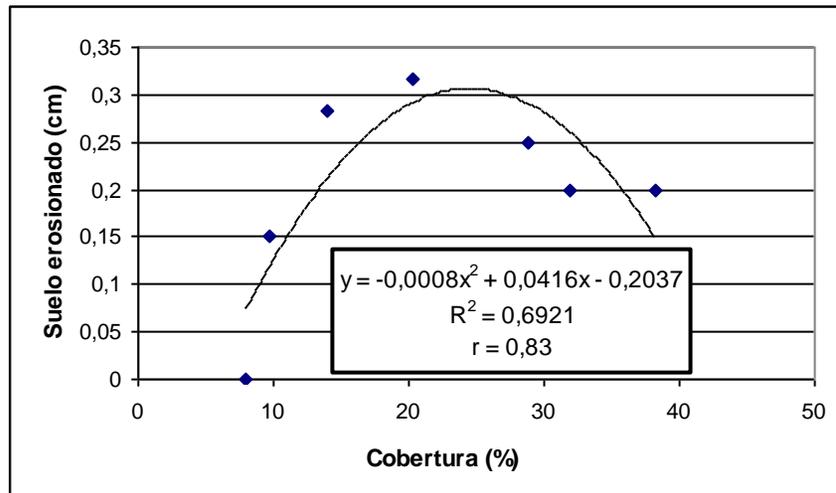
**Figura 4 Regresión Suelo Erosionado vs Cobertura de Especies Naturales en Parcelas de Agave**



**Figura 5 Regresión Suelo Erosionado vs Cobertura de Especies Naturales en Parcelas de Tuna**



**Figura 6 Regresión Suelo Erosionado vs Cobertura de Especies Naturales en Parcelas Testigo**



## 6. PRUEBA DE SIGNIFICANCIA

### Cuadro 1 Análisis de Varianza Erosión Hídrica

Suma de Cuadrados	Valores
Factor de corrección	29.65
Totales	0.47
Tratamiento	0.16
Entre bloques	0.03
Error experimental	0.29

### PRUEBA DMS

Cálculo del valor referencial DMS:

$$VR_{DMS} = t * S_x$$

**t** = Valor tabular en función de los GL del error y nivel de significancia 1%, 5%

**r** = Número de repeticiones

**S<sub>x</sub>** = Error estándar

$$S_x = \sqrt{2 * 0.03/6} = 0.1$$

Valor tabular con 10 GL del error experimental y asumiendo un nivel de significancia de 5%; t= 2.228

$$VR_{DMS} = 2.228 * 0.1 = \mathbf{0.22}$$

Testigo	Agave	Tuna
1.40 a	1.28 b	1.17 b

# 7. FOTOGRAFÍCO



**Fot. 1 Pluviómetro**



**Fot. 2 Transecto en Línea**



**Fot. 3 Cobertor**



**Fot. 4 Altura de Plantas de Agave**



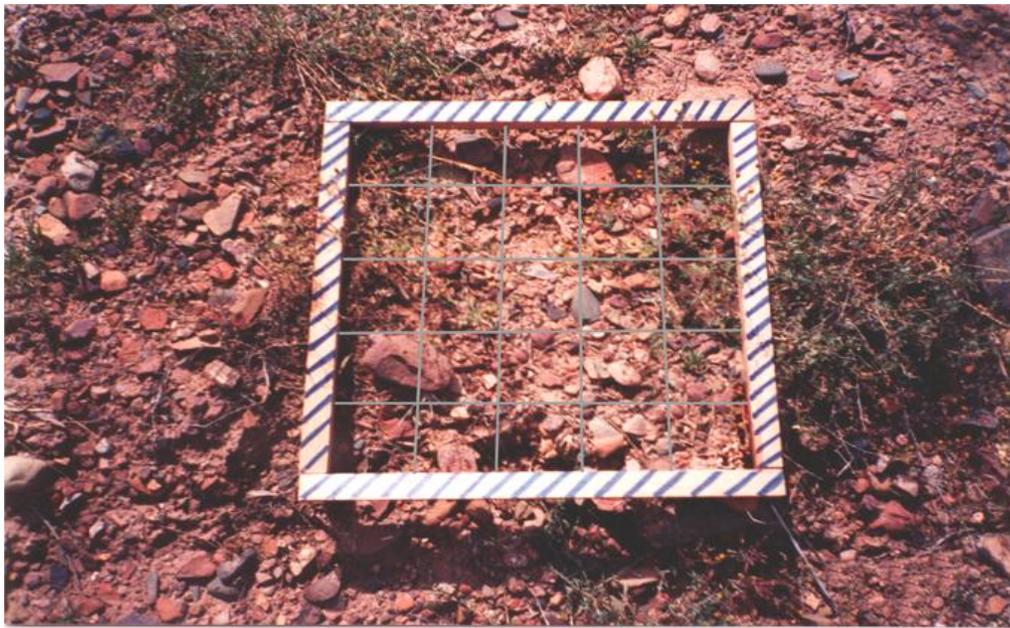
**Fot. 5 Altura de Plantas de Tuna**



**Fot. 6 Vegetación Natural en Parcela de Agave**



**Fot. 7 Vegetación Natural en Parcela de Tuna**



**Fot. 8 Vegetación Natural en Parcela Testigo**

