

**EVALUACIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD A LA EROSIÓN EN DOS TIPOS DE  
AGROECOSISTEMAS ALTO ANDINOS EN LA CUENCA DEL RÍO PALACÉ**

**FERNANDO ANDRÉS MUÑOZ GÓMEZ**

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA  
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES, EXACTAS Y DE LA EDUCACIÓN  
DEPARTAMENTO DE BIOLOGIA  
POPAYÁN  
2007**

**EVALUACIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD A LA EROSIÓN EN DOS TIPOS DE  
AGROECOSISTEMAS ALTO ANDINOS EN LA CUENCA DEL RÍO PALACÉ**

**FERNANDO ANDRÉS MUÑOZ GÓMEZ**

**Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título de  
Biólogo**

**Director  
APOLINAR FIGEROA CASAS. Ph.D.**

**Asesor  
EDIER HUMBERTO PÉREZ. Mg.**

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA  
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES, EXACTAS Y DE LA EDUCACIÓN  
DEPARTAMENTO DE BIOLOGIA  
POPAYÁN  
2007**

## **AGRADECIMIENTOS**

Este trabajo de grado es una parte de mi vida y comienzo de otras etapas por esto y mas, la dedico a Dios y a mi familia, uno de mis tantos sueños.

**A mis padres Fernando Rodrigo y Clara** por su paciencia, confianza, apoyo, ejemplo, enseñanzas y su amor.

**A mis hermanas, Adriana Eugenia, Leidy Carolina y Clara Ines**, por labrar una vida fraterna de respeto, ayuda y colaboración.

**A mis pequeños sobrinos Willinton Felipe, Erik santiago** Por ser la alegría y el sinónimo amor en mi vida.

El autor expresa sus agradecimientos por el apoyo y contribución para la realización de este trabajo a:

**A Dios** creador del universo y dueño de mi vida, por haberme puesto en este camino y ser un apoyo constante.

**A mis padres Fernando Rodrigo Muñoz, Clara Gómez** y hermanas, **Adriana Eugenia, Leidy Carolina y Clara Ines**, Sobrinos **Willinton Felipe, Erik Santiago** por todo su esfuerzo, colaboración, paciencia y el amor.

**A mis abuelas, Ester Molina y Ana Maria Bolaños**, por sus consejos y constante preocupación.

**A mi tío Serafín Bolaños**, por su constante apoyo y consejos en todo momento.

**A mis primos y demás familiares**, por su interés y constante apoyo.

**A los auxiliares de campo**, Jhon Jairo Viveros, Wilson Campo, Juan Diego Otero.

**Al Maestro Apolinar Figueroa Casas. Ph.D.** Docente del programa de Biología, Universidad del Cauca, Director del trabajo, por la oportunidad, amistad, enseñanzas, valiosos y constantes aportes.

**Al Maestro Edier Humberto Pérez. Mg.** Quien fue obra y parte de este proyecto con sus conocimientos y mucha paciencia.

**A mi compañero William James Tandioy** Grupo de Estudios Ambientales, Universidad del Cauca. Por su amistad, oportunos y generosos aportes en la consolidación de este documento.

**Samir Carlos Joaquín Daza, Juan Pablo Martínez,** Biólogos, Grupo de Estudios Ambientales, Universidad del Cauca. Por su Amistad, y aportes a este trabajo.

**Miembros del Grupo de Estudios Ambientales. Universidad del Cauca, Angélica Mosquera, Paola Muñoz, Victoria Caballos, Lorena Alvear, Jairo Plazas** por su amistad y toda la colaboración e interés mostrado durante el desarrollo del proyecto.

**Al Maestro y jurado del trabajo de Grado Antonio Valverde:** Docente de Biología, , por las recomendaciones y sugerencias.

**Al Maestro y jurado del trabajo de Grado Hernando Vergara:** Docente de Biología, por las recomendaciones y sugerencias.

**Al Maestro Edwin Cañizales:** Por su vital ayuda en el análisis estadístico.

**A la Maestra Maria Cristina:** Por sus valiosos aportes en la finalización de este trabajo.

**Al Señor Jorge Castro y al mayordomo Don Félix:** Por facilitarme su finca y la hospitalidad.

**Al Grupo de Agroquímica de la Universidad del Cauca:** Por su colaboración en el análisis de suelos.

## Tabla de contenido

INTRODUCCIÓN .....	7
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	8
2. OBJETIVOS.....	9
2.1 OBJETIVO GENERAL .....	9
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	9
3. JUSTIFICACIÓN.....	10
4. HIPÓTESIS.....	11
5. AREA DE ESTUDIO .....	12
6. MARCO TEÓRICO .....	15
6.1 PROCESO EROSIVO.....	15
6.1.1 Escorrentía .....	15
6.1.2 Suelo erodado .....	15
6.1.3 Infiltración .....	15
6.2 FACTORES QUE DETERMINAN EROSIÓN HIDRICA .....	15
6.2.1 Longitud del terreno y pendiente ( $L - S$ ).....	15
6.2.2 Erosividad de la lluvia ( $R$ ) .....	16
6.2.3 Erodabilidad del suelo ( $K$ ).....	16
6.2.4 Cobertura vegetal ( $C$ ) .....	16
6.3 NECESIDAD DE CUANTIFICACIÓN EN CAMPO .....	16
6.4 SIMULADORES DE LLUVIA.....	17
6.4.1 Minisimulador portátil de lluvia.....	17
6.4.2 Partes para montaje en campo del minisimulador de lluvia .....	18
6.4.3 Sistema formador de gotas.....	18
6.4.4 Base con trípode graduable para el sistema formador de gotas.....	18

6.4.5 Bandeja de escorrentía recolectora de excedentes de simulación .....	18
6.5 AGRO-ECOSISTEMAS DE CULTIVOS LIMPIOS .....	20
6.6 AGRO-ECOSISTEMAS DE PASTIZALES .....	21
6.7 SUELOS ÁNDICOS .....	21
6.9 PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DE SUELOS .....	22
6.9.1 Textura .....	22
6.9.2 Densidad .....	22
6.9.3 Permeabilidad .....	23
6.9.4 Porosidad .....	23
6.9.5 Humedad .....	23
6.9.6 Materia orgánica .....	24
6.9.7 pH .....	25
6.9.8 Aluminio intercambiable .....	25
<b>7. ANTECEDENTES .....</b>	<b>26</b>
<b>8. METODOLOGÍA .....</b>	<b>30</b>
8.1 RECONOCIMIENTO DEL ÁREA DE ESTUDIO .....	30
8.2 CALIBRACIÓN DEL MINISIMULADOR DE LLUVIA .....	30
8.3 TRABAJO EN CAMPO CON EL MINISIMULADOR .....	32
8.3.1 VARIABLES A EVALUAR .....	32
8.3.1.1 Escorrentía superficial .....	33
8.3.1.2 Infiltración .....	33
8.3.1.3 Suelo erodado .....	33
8.4 EVALUACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y QUÍMICAS EN LABORATORIO O DETERMINACIÓN DE LA ERODABILIDAD DEL SUELO ....	33
8.4.1 Textura .....	33
8.4.1 Densidad aparente ( $D_a$ ) .....	34
8.4.2 Densidad real ( $D_R$ ) .....	35

8.4.4 Permeabilidad.....	35
8.4.5 Porosidad.....	36
8.4.9 Determinación de humedad de campo.....	36
8.4.5 Determinación de materia orgánica en el suelo.....	36
8.4.7 Determinación del pH.....	37
8.4.6 Aluminio intercambiable.....	37
8.5 ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	37
8.6 ESPACIALIZACIÓN DE LOS RESULTADOS POR MEDIO DE SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (SIG).....	37
8.7. EVALUACIÓN AMBIENTAL DE LA GANADERÍA EXTENSIVA Y EL CULTIVO DE PAPA.....	37
<b>9. RESULTADOS Y DISCUSIONES .....</b>	<b>39</b>
9.1 ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS O DETERMINACIÓN DE LA ERODABILIDAD DEL SUELO .....	39
9.1.1 Densidad real.....	39
9.1.2 Densidad aparente .....	40
9.1.2 Porosidad.....	40
9.1.3 Permeabilidad.....	40
9.1.4 Textura.....	40
9.1.5 Humedad .....	41
9.1.6 Materia orgánica .....	42
9.1.7 pH.....	42
9.1.8 Aluminio intercambiable.....	42
9.2 ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DE LA ESCORRENTÍA, SUELO ERODADO E INFILTRACIÓN EN SUELO DESNUDO Y PASTURA.....	42
9.2.1 Agro-ecosistema con suelo desnudo.....	44
9.2.2 Agro-ecosistema de Pastura.....	46



9.3 COMPORTAMIENTO DE LA ESCORRENTÍA, SUELO ERODADO E INFILTRACIÓN	
RESPECTO AL USO DEL SUELO Y LOS MESES .....	48
<i>9.3.1 Descripción de la variable Escorrentía.....</i>	<i>48</i>
<i>9.3.2 Descripción de la variable Suelo erodado.....</i>	<i>49</i>
<i>9.3.3 Descripción de la variable Infiltración.....</i>	<i>52</i>
9.4 ANÁLISIS DE CORRELACIÓN .....	54
9.5 EFECTODE LA PENDIENTE SOBRE ESCORRENTÍA, SUELO ERODADO E INFILTRACIÓN	
.....	55
<b>10. EVALUACIÓN PRELIMINAR DE LAS ACTIVIDADES MÁS IMPACTANTES .</b>	<b>56</b>
10.1 MATRIZ DE FEARO PARA GANADERÍA EXTENSIVA .....	56
10.2 MATRIZ DE FEARO PARA CULTIVOS LIMPIOS DE PAPA .....	61
<b>11. MAPA DE SUSCEPTIBILIDAD A LA EROSIÓN.....</b>	<b>65</b>
<b>12. CONCLUSIONES .....</b>	<b>70</b>
<b>13. RECOMENDACIONES .....</b>	<b>72</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>73</b>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Media anual de precipitación para Gabriel López	12
Figura 2 Mapa área de estudio	14
Figura 3. Componentes del minisimulador de lluvia	19
Figura 4. Minisimulador instalado en campo	19
Figura 5. Esquema del sistema formador de gotas de lluvia	20
Figura 6. Bandeja de escorrentía y trípode graduable	20
Figura 7. Diagrama textural	22
Figura 8. Curva de Permeabilidad	23
Figura 9. Porosidad en el suelo	24
Figura 10. Calibración de la intensidad para el minisimulador	31
Figura 11. Prueba de textura	34
Figura 12. Cilindros para determinación de densidad aparente	34
Figura 13. Prueba de densidad real	35
Figura 14. Permeámetro	36
Figura 15. Suelo preparado para cultivo de papa	44
Figura 16. Tratamientos para suelo desnudo en el que se indica los modelos de relación para: a) suelo erodado - escorrentía; b) infiltración - suelo erodado, c) infiltración escorrentía a una intensidad de lluvia de $100\text{mm/h}^{-1}$ donde $r^2$ indica el nivel de relación que existe entre ellos.	45
Figura 17. Simulador en agro-ecosistema pastura	46
Figura 18. Medias de escorrentía para meses y uso de suelo	49
Figura 19. Suelo erodado para una intensidad de $100\text{mm/h}^{-1}$ en seis meses	50
Figura 20. Medias de suelo erodado para meses y uso	51
Figura 21. Suelo erodado en ton/ha/mes	51
Figura 22. Medias de infiltración para meses y uso	53
Figura 23. Ganadería extensiva	57
Figura 24. Canales de agua	58

Figura 25. Compactación y efecto de la pata de vaca	59
Figura 26. Matriz de FEARO para ganadería extensiva	61
Figura 27. Cultivo de papa	62
Figura 28. Prácticas agrícolas	61
Figura 29. Matriz de FEARO para el monocultivo de papa	65
Figura 30. Mapa base corregimiento de Gabriel López	67
Figura 31. Mapa de coberturas vegetales Corregimiento de Gabriel López	68
Figura 32. Mapa de susceptibilidad a la erosión	69
Figura 33. Modelo de elevación Corregimiento de Gabriel López	70

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Erosión en Colombia	29
Tabla 2. Propiedades físicas y químicas del suelo aplicando la prueba U de Mann-Whitney	39
Tabla 3. Medias marginales estimadas para suelo erodado y pastura	43
Tabla 4 Estadísticos de contraste Prueba de Mann-Whitney <sup>(a)</sup>	43
Tabla 5. Vegetación dominante	47
Tabla 6. ANOVA para las variables Escorrentía, Suelo erodado e Infiltración según meses (enero, febrero, marzo, abril, mayo, junio)	47
Tabla 7. Prueba de Duncan para Escorrentía.	48
Tabla 8 Prueba de Duncan para Suelo erodado	50
Tabla 9. Prueba de Duncan para Infiltración	53
Tabla 10. Matriz de correlación no paramétrica de Rho de Spearman	54
Tabla 11. Prueba de los efectos Inter-Sujetos	56

## RESUMEN

Con esta investigación se logró estimar la cantidad de suelo que es desplazada por escorrentía superficial en suelos ándicos, cuando estos se encuentran desnudos, durante la preparación del terreno para el cultivo de papa. Asimismo se logró comprobar el papel fundamental que cumple la cobertura vegetal (pastos) sobre el suelo cuando es sometido a lluvias de alta intensidad, utilizando una herramienta básica para cuantificar el desplazamiento de suelo como es el minisimulador de lluvia tipo Vaso de Mariotte diseñado por Cobo (1998), valorando la cantidad de suelo presente en la escorrentía superficial a una intensidad de ( $100 \text{ mm h}^{-1}$ ), teniendo en cuenta algunas características del sector (lluvia, suelo y topografía) y aplicando una metodología que se aproxime a las condiciones naturales del área en estudio ante este tipo de proceso, complementando con aquellas características físicas y químicas del suelo que están directamente relacionadas con este proceso como son: textura, densidad aparente, densidad real, porosidad, permeabilidad, materia orgánica, pH, aluminio intercambiable y humedad. Estos resultados se acoplarán para generar un mapa temático de susceptibilidad a la erosión por efecto de la lluvia en ecosistemas de alta montaña.

Posterior a esto se hace un análisis del impacto que esta generando la agricultura con cultivo de papa y la ganadería extensiva sobre los componentes de ecosistemas altoandinos, utilizando el método de matriz de FEARO.

## INTRODUCCIÓN

La degradación ambiental continúa siendo uno de los problemas más comunes en áreas rurales causadas principalmente por actividades humanas ligadas a sistemas de producción extensiva e intensiva, bien sea de tipo agrícola, ganadero o minero. La disminución de las coberturas vegetales antes y después del cultivo, el aumento en la frecuencia de quemas y el sobre pastoreo, son algunos de los factores que conducen a una degradación de sus condiciones originales. Es el caso de los cultivos limpios de papa y la ganadería que dejan expuesto los suelos a procesos erosivos que modifican severamente las condiciones físicas, químicas, biológicas y la productividad de los ecosistemas por un continuo transporte de partículas y nutrientes necesarios para el desarrollo de las diferentes formas de vida.

En la actualidad Colombia cuenta con pocos estudios técnicos que permitan determinar y generalizar la cantidad de suelo que se pierde por erosión hídrica en zonas de ladera; y en especial el impacto generado en agro-ecosistemas altoandinos. Como lo demuestran los estudios realizados por el IDEAM (2001), donde se da a conocer que un 48% aproximadamente del territorio nacional está impactado con algún grado de erosión y de este porcentaje un 14.2 % está afectado con un grado de erosión muy alto. Razón importante para estudiar, evaluar y analizar de forma cuantitativa la cantidad de suelo perdido por escorrentía superficial, identificando y evaluando los factores influyentes.

Para el Departamento del Cauca en la zona norte, Suárez (1982) concluye que el proceso erosivo ha llevado a la pérdida casi completa de la capa de cenizas volcánicas que antes cubrieron el área. En el resto del departamento solo se han hecho apreciaciones generales en los reportes del Esquema de Ordenamiento Territorial E.O.T (2002), donde el municipio de Totoró y en especial el corregimiento de Gabriel López se presentan procesos de erosión ligera, evidenciados por el fenómeno de reptación (pata de vaca), sobre pastoreo y los cultivos limpios con la utilización de agentes químicos que impiden el crecimiento de vegetación asociada, que unidos a otros agentes están incrementando la pérdida de suelo por escorrentía superficial.

Por estas razones se propone investigar y evaluar el efecto de la lluvia en suelos ándicos sin cobertura y con cobertura de pastos, para estimar la escorrentía superficial, cantidad de suelo arrastrado e infiltración y algunas propiedades físicas y químicas de los suelos, teniendo en cuenta variables como: intensidad de la lluvia, tipo de cobertura y pendientes. Para ello se utiliza como herramienta metodológica un minisimulador de lluvia portable que permita el acceso a zonas de difícil topografía y de igual forma acercarnos lo más fielmente a las condiciones físicas de la lluvia cerca del suelo y poder evaluar el proceso erosivo en ecosistemas altoandinos.

## 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Teniendo en cuenta la importancia de los ecosistemas altoandinos del Departamento del Cauca como fuente de agua, hábitat de gran variedad de plantas y organismos, que en muchas ocasiones son endémicos de estos lugares y la fragilidad del sistema debido al cambio de uso del suelo que lo deja susceptible a los efectos de la erosión, ya que en esta zona se presentan altos niveles de precipitación y los suelos al no contar con una cobertura vegetal apropiada generan un desplazamiento por escorrentía superficial de la frágil capa orgánica que es muy importante para el desarrollo de cualquier ecosistema o actividad agrícola que se desarrolle. Como es en el sector Gabriel López donde se realizan prácticas agropecuarias de tipo extensiva e intensiva en zonas con pendientes pronunciadas dedicadas a la ganadería y cultivos de papa que deja el suelo desnudo durante la preparación del terreno, creando movimientos de suelo y agua que alteran los ecosistemas existentes. Se planteo una investigación donde se evalúa el suelo erodado en un ecosistema altoandino por actividades y practicas agropecuarias (Cultivo de papa – Ganadería extensiva) en el cual se identifican y generan alternativas para la gestión ambiental de estos suelos.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 OBJETIVO GENERAL**

Evaluar la susceptibilidad a la erosión causada por escorrentía superficial en suelos ándicos desnudos de vocación agrícola y con pasturas en la cuenca alta del río Palacé.

### **2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Estimar la pérdida de suelo generada por intensidades de lluvia de  $100 \text{ mm/h}^{-1}$  bajo sistemas de manejo en cultivo de papa (suelo desnudo) y ganadería extensiva (pastura) que se desarrollan en el sector Gabriel López, Municipio de Totoró, Departamento del Cauca; junto al humedal de Calvache.
- Evaluar la eficiencia de un minisimulador de lluvias en este tipo de ecosistemas.
- Estructurar una matriz que permita realizar una evaluación preliminar de las actividades más impactantes sobre los ecosistemas altoandinos, aplicando el método de Matriz de FEARO a partir de los resultados obtenidos.
- Elaborar un mapa temático de susceptibilidad a la erosión para la zona en estudio.



### 3. JUSTIFICACIÓN

El efecto causado por el proceso erosivo cada vez es mayor en los ecosistemas altoandinos por la fragilidad que estos sistemas presentan, debido principalmente al cambio de uso del suelo o de coberturas vegetales, la longitud y pendiente del terreno que son muy pronunciadas, los niveles de pluviosidad que en estas zonas son muy altos, y la susceptibilidad a la erosión que presentan los suelos ándicos sometidos actividades agropecuarias; haciendo que año tras año se pierdan gran cantidad de suelo en ton/ha/año de forma casi imperceptible para el hombre, alterando tanto las características físicas, químicas y biológicas propias de estos biomas. Esta pérdida de suelo especialmente por erosión hídrica es un proceso en el cual se rompe la bioestructura terrosa del suelo, por impacto directo de las gotas de lluvia, desplazando las partículas por flujos superficiales de agua lo que causa un deterioro en la capa superficial del suelo donde se encuentra la mayor parte de materia orgánica y minerales que son la base de los ciclos bioquímicos de estos sistemas especialmente cuando se encuentran sin ningún tipo de cobertura vegetal, repercutiendo directamente en los ecosistemas existentes y aledaños.

Con la intensificación del uso agrícola y pecuario el suelo superficial de los ecosistemas altoandinos están sometidos a cambios físicos, químicos y biológicos por las fuertes roturaciones y el pastoreo del ganado que generalmente facilitan que el suelo alcance condiciones de alta fluidez al humedecerse con la lluvia. Además el incremento de la mecanización aumenta la escorrentía, generando la formación de capas compactas con muy baja permeabilidad, restringiendo el desarrollo radicular en el suelo subsuperficial que es muy sensible a daños estructurales por compactación.

Todo esto conduce al deterioro de las tierras en Colombia y en especial los ecosistemas altoandinos. El Departamento del Cauca no es ajeno a este tipo de procesos ya que gran parte de las actividades productivas se desarrollan en ecosistemas de alta montaña donde se cuenta con pocos estudios técnicos que permitan establecer y generalizar metodologías, técnicas y estrategias que tiendan a mitigar los efectos del suelo erodado por escorrentía superficial y evaluar su impacto en ecosistemas altoandinos. Por este motivo, se plantea el siguiente trabajo a manera de diagnóstico que sirva como una herramienta para generar alternativas de gestión en suelos cuando se encuentran con cobertura en pastos y en suelo desnudo, identificando y evaluando los factores ambientales, físicos y químicos influyentes.

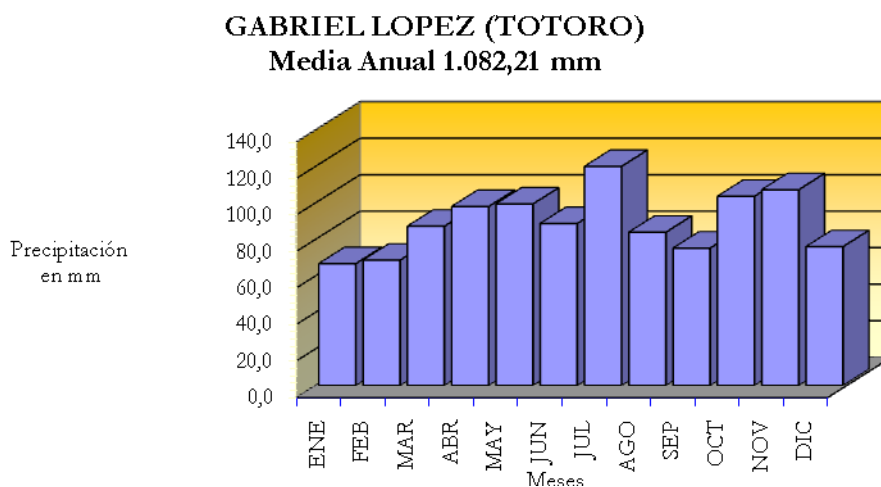
#### **4. HIPÓTESIS**

Es posible que la intervención antrópica por medio de cultivos de papa, pastizales para ganadería y el cambio de uso del suelo en ecosistemas altoandinos sin control eficiente ocasionen erosión, o aceleran los procesos erosivos relacionados con el desplazamiento de suelo, causando un deterioro de las características ambientales propias de estos sistemas.

## 5. AREA DE ESTUDIO

El área donde se llevo a cabo la investigación esta ubicada sobre la cordillera central que corresponde a la región Andina en el Departamento del Cauca, municipio de Totoró y pertenece al corregimiento de Gabriel López. Situado, entre las coordenadas geográficas a  $76^{\circ} 18' 53''$  W;  $2^{\circ} 28' 20''$  N en cercanías del humedal de Calvache. En esta región la actividad económica es la agricultura, especialmente el cultivo de papa y la ganadería donde en algunos sectores se está traspasando la frontera agrícola interviniendo el ecosistema de páramo. Esta unidad se caracteriza igualmente por una tecnificación agropecuaria presente en el cultivo de papa, la obtención de leche y el levante de ganado en algunas fincas privadas. La producción agropecuaria se constituye en la principal actividad económica de la población, desarrollada con técnicas tradicionales y en la cual interactúan latifundio y minifundio (González, 1982). Los suelos del sector geomorfológicamente, pertenece a las llamadas colinas inter montanas de la cordillera central. El relieve es ondulado a fuertemente ondulado, presenta disecciones profundas, con pendientes cortas y medias, rectilíneas de 7-12-25-50%. Algunos sectores tienen relieve suavemente ondulado, y otros, llegan a ser fuertemente quebrados. Son colinas situadas entre 2800 y 3200 m. s. n. m., de clima muy frío (páramo) y corresponden a las zona de vida de bosque muy húmedo Montano (bmh-M), afectadas por frecuentes heladas y muy fuertes vientos. Las temperaturas varían entre  $0^{\circ}$  C y  $22^{\circ}$  C y la precipitación tiene una media anual de 1082, 21 milímetros.

FIGURA1. MEDIAS DE PRECIPITACIÓN PARA GABRIEL LÓPEZ



\*

\* Fuente POT de Silvia(2000)

El material parental es de ceniza volcánica, recubierto por diversos materiales geológicos, principalmente arenas y tobas volcánicas. Son suelos profundos a muy profundos, con frecuentes horizontes plásticos a profundidades mayores a un metro. Se caracterizan por su buen drenaje natural y ligera erosión, evidenciada por fenómenos de reptación (pata de vaca) y sobre pastoreo. En el perfil modal se identifican, primeramente dos horizontes muy gruesos de colores oscuros y texturas al tacto franco arcillosas y posteriormente, varias capas pardo amarillentas oscuras, intercaladas, con una capa parda oscura. Son suelos fuertemente ácidos y de muy altos contenidos de carbono. En el primer horizonte la saturación de aluminio es muy alta (60%) y en los horizontes subyacentes es muy baja. (González, 1982).

**Área de estudio**  
**Municipio de Totoró - Corregimiento de Gabriel López**



Cartografía estructurada por:  
Fernando Andrés Muñoz Gómez



## **6. MARCO TEÓRICO**

### **6.1 PROCESO EROSIVO**

Se denomina “erosión” al conjunto de procesos físicos de desalojo, transporte y depósito de materiales ejercidos por diversos agentes: agua, viento y organismos vivos (el hombre y los animales), sobre la superficie terrestre; con un grado de intensidad variable. (Barco, 1998).

#### **6.1.1 Escorrentía**

Los flujos superficiales o escorrentía se originan de dos formas; por las lluvias de baja intensidad que logran saturar el suelo y por las lluvias de alta intensidad que superan la velocidad de infiltración del suelo (Morgan, 1986). La escorrentía es la encargada de transportar las partículas desprendidas por el impacto de la lluvia y cuando alcanza altas velocidades es un factor erosivo capaz de desprender partículas y agregados del suelo.

#### **6.1.2 Suelo erodado**

Hace referencia a la cantidad de suelo que es desplazado por los flujos superficiales (escorrentia superficial).

#### **6.1.3 Infiltración**

La infiltración es el mecanismo por el cual el agua penetra en los horizontes de la superficie del suelo y se mueve hacia el manto freático.

### **6.2 FACTORES QUE DETERMINAN EROSIÓN HIDRICA**

Teniendo en cuenta la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE) propuesta por Wischmeier y Smith en 1958, los efectos de la erosión hídrica esta determinados por la pendiente del terreno, la longitud de pendiente, la erosividad, la erodabilidad, la cobertura y el manejo que del suelo se hace.

#### **6.2.1 Longitud del terreno y pendiente (L- S)**

Las características del relieve tiene un gran efecto en el desplazamiento de suelo, ya que en una determinada zona al aumentar la pendiente es evidente que una lluvia inicie sobre el suelo mayores corrientes superficiales transportando agregados desalojados por el impacto de las gotas de lluvia. Según Suárez de Castro (1980) en (Torres, 2000) si la pendiente del terreno se aumenta cuatro veces, la velocidad del agua que fluye sobre él se duplica y su capacidad erosiva se cuadruplica. (Hudson,1982) indica que en una pendiente larga la escorrentía puede aumentar mucho más que en una corta, tanto en volumen como en velocidad y profundidad. Esto puede provocar erosión abrasiva, ya que una pendiente larga experimentara mayor suelo erodado no solo por sufrir una mayor erosión, sino por corresponder a un área mayor.

### **6.2.2 Erosividad de la lluvia (R)**

Es conocido como índice de erosión pluvial y se define como la capacidad que tiene la energía cinética de los aguaceros o lluvias por intermedio de las gotas de agua de separar los agregados o partículas finas del suelo, (materia orgánica) por salpicadura cuando los suelos se encuentran desprovistos de vegetación ocasionando erosión, compactación y escorrentía superficial. Wischmeier y Smith (1978) lo denominaron factor de erosividad de la lluvia (R). Kirkby et al. , (1984) Evaluaron la velocidad terminal y el diámetro de las gotas de lluvia, y mostraron que están directamente relacionados, a medida que aumenta el diámetro de la gota aumenta la velocidad terminal y mientras mayor sea la velocidad, mayor es el impacto y mayor será la cantidad de suelo dispersado.

Al relacionar la intensidad de la precipitación con las características físicas del suelo, se puede hablar de dos tipos de lluvia: las precipitaciones largas de baja intensidad que generan escorrentía por saturación del suelo y las tormentas cortas de alta intensidad que generan flujos superficiales al superar la capacidad de infiltración del suelo. Morgan (1977) citado en (Torres, 2000).

### **6.2.3 Erodabilidad del suelo (K)**

Se denomina erodabilidad a la susceptibilidad del suelo a ser dispersado y transportado en partículas ante fuerzas erosivas como el agua y el aire en movimiento. Es una particularidad propia del suelo relacionado con su granulometría, estructura y condiciones hidrológicas. En la literatura se considera que la erodabilidad decrece con el incremento en el contenido de arcilla y materia orgánica, así como con valores bajos en la relación de vacíos y altos contenidos de humedad natural. La erosionabilidad depende de varios factores, siendo de gran importancia los relacionados con la textura, por su función de cohesión al material y la permeabilidad. De igual forma la materia orgánica proporciona estabilidad a los agregados del suelo y mejora su estructura y resistencia a la erosión.

### **6.2.4 Cobertura vegetal (C)**

La capa vegetal es el elemento natural que protege el suelo, disminuyendo el impacto de las gotas de agua directamente sobre él, evitando las fuerzas erosivas de las precipitaciones, pues la energía de las gotas de lluvia se disipa en la vegetación y el agua se filtra con suavidad en el mantillo sin transformar la estructura, de igual manera el sistema radicular de las plantas sirve como un mecanismo de amarre del suelo y flujo del agua.

## **6.3 NECESIDAD DE CUANTIFICACIÓN EN CAMPO**

Actualmente se han dado algunas pautas o criterios para evaluar la sostenibilidad de suelos. Según Lal (1994), es importante seguir cinco pasos para hacer un desarrollo sostenible en la agricultura: **(i)** identificar indicadores de sostenibilidad de suelo, **(ii)** identificar procesos de modificación del suelo tomando los procesos

de mejoramiento de la productividad y de degradación, **(iii)** definir límites críticos y puntos de no retorno de la productividad del suelo y **(iv)** establecer índices de sostenibilidad y calidad de suelo y **(v)** investigar y estandarizar métodos para evaluar cambios en el suelo.

## **6.4 SIMULADORES DE LLUVIA**

Los experimentos de campo dependen de la lluvia natural, que es siempre impredecible y a veces adversa. Durante muchos años los investigadores han procurado independizarse de este problema utilizando simuladores de lluvia artificial. Estos prototipos de simuladores de lluvia deben ser de bajo costo fácil manejo y ser usados en cualquier sitio. Lo más importante de estos equipos es que semejen las características principales de la lluvia natural como son:

- 1) Distribución del tamaño de gotas de lluvia similar a las de la lluvia natural.
- 2) Velocidad de impacto similar a la velocidad Terminal de las gotas de lluvia.
- 3) Intensidad de lluvia correspondiente a las condiciones naturales.
- 4) Energía cinética similar a las de la lluvia natural.
- 5) Lluvia uniforme y distribución aleatoria de las gotas. (Burbenzer, 1979, Meyer, 1979). Citado en (Cobo, 1998).

Los simuladores de lluvia se dividen en dos grandes grupos:

Aquellos que utilizan el método de goteo para la producción de lluvia, donde la velocidad inicial de las gotas es cero y aquellos que utilizan el método de boquillas pulverizadoras donde el agua sale a una determinada velocidad por estar sometido a una presión inicial. (Cobo, 1998).

### **6.4.1 Minisimulador portátil de lluvia**

El minisimulador portátil de lluvia desarrollado en el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) ver figura 1, utiliza el método de goteo para formar la lluvia y tiene la característica de ser portátil para realizar evaluaciones en zonas de difícil acceso (Cobo, 1998).

La formación de las gotas se realiza con agujas hipodérmicas las cuales se pueden cambiar para producir diferentes diámetros de gota, con el fin de poder simular varias intensidades de lluvia, el minisimulador sé a equipado con un sistema de vaso Mariotte, el cual permite aumentar o disminuir la presión sobre las agujas y así regular él numero de gotas por unidad de tiempo.

El minisimulador cuenta con la posibilidad de ser utilizado en laboratorio y en el campo, el área de evaluación en campo es 33 cm por 42 cm y una altura de emisión de gota de aproximadamente 1m, en el laboratorio esta altura puede incrementarse con un dispositivo que permite colgarlo.



El minisimulador puede trabajar con rangos de diámetro de gota entre 2.5 y 4 mm e intensidades de lluvia entre 40 a 120 mm h<sup>-1</sup>. (Torres, 2002).

#### **6.4.2 Partes para montaje en campo del minisimulador de lluvia**

Consta de tres partes:

- Sistema formador de gotas con presión constante (sistema Mariotte).
- Base con trípode graduable para el sistema formador de gotas.
- Bandeja recolectora de excedentes y de escorrentía.

#### **6.4.3 Sistema formador de gotas**

Este sistema consta de tres partes distribuidor de gotas o bandeja de agujas hipodérmicas, abastecedor de agua y tubo de entrada de aire o vaso Mariotte, el cual es un tubo que permite calibrar la presión deseada para cada evaluación, con diferentes alturas del tubo instalado al interior del abastecedor del agua. (Figura 5).

#### **6.4.4 Base con trípode graduable para el sistema formador de gotas**

La base del minisimulador de lluvia consta de tres patas terminadas en punta para aferrarse a la tierra, dos de estas son extensibles para facilitar la nivelación del minisimulador (figura 6).

#### **6.4.5 Bandeja de escorrentía recolectora de excedentes de simulación**

La bandeja de escorrentía es un marco que delimita un área de 42 cm. por 33 cm., tiene una sección de cm. que se clavan en el suelo para forzar una infiltración vertical, evitando flujos horizontales. La bandeja recolectora de excedentes de simulación se sitúa sobre la bandeja de escorrentía para recoger el agua que no cae sobre el área de estudio (Figura 6).

Figura 3. Componentes del minisimulador; 1. Abastecedor de agua; 2. Soporte de panel de agujas; 3. Bandeja de salpicado; 4.; Bandeja de escorrentía 5. Tripode; 6. Regulado de presión; 7. Nivel; 8. Colectores; 9. Embudo 10. Protector de agujas; 11. Probeta; 12. Manguera de presión.

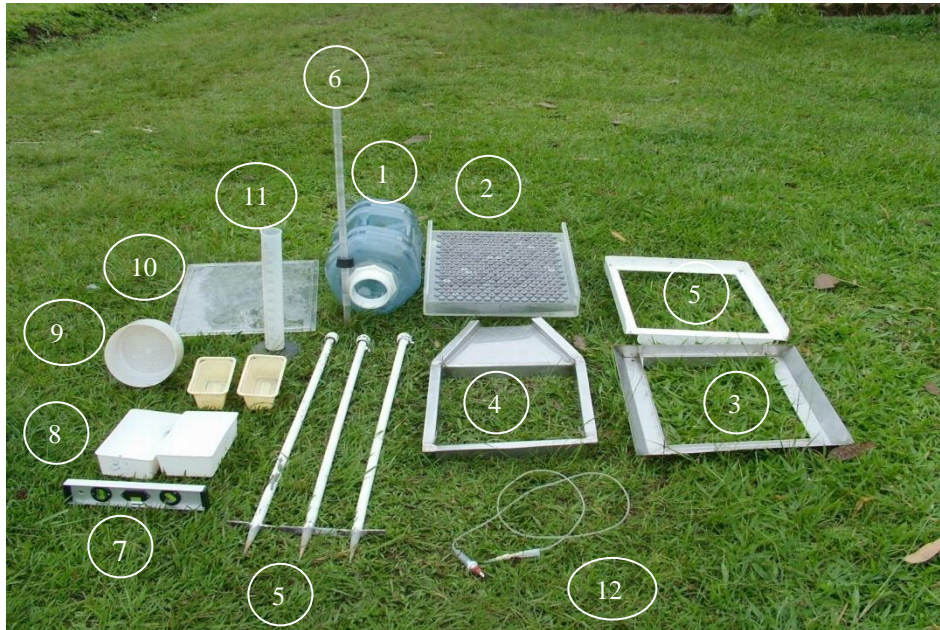


Figura 4. Minisimulador instalado en campo



Figura 5. Esquema del sistema formador de gotas

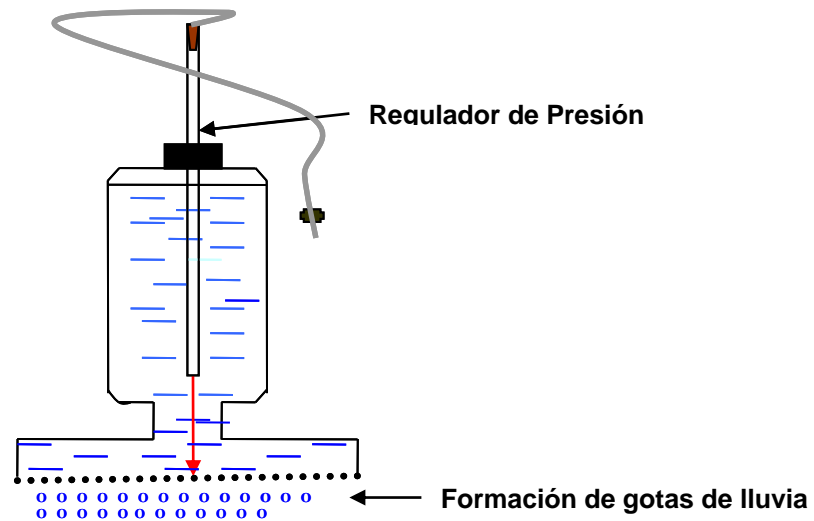


Figura 6. Bandeja de esorrentía y trípode graduable



## 6.5 AGRO-ECOSISTEMAS DE CULTIVOS LIMPIOS

Un agro-ecosistema es un sistema en el que el ser humano actúa como administrador y consumidor. En los agro-ecosistemas de cultivos limpios que son intolerantes a la vegetación acompañante, se procede a eliminar toda la flora cuando se presenta, para evitar la competencia por nutrientes, agua y energía solar. Los factores más impactantes se producen antes del brote del cultivo y después de la cosecha ya que el suelo se encuentra expuesto a procesos erosivos como el producido por la lluvia, al perder el tramado del sistema radicular y la

protección que le brinda el sistema foliar de las plantas. La fitodiversidad en este tipo de agro-ecosistema llega a su expresión mínima y por tal razón el área destinada a producción se restringe a bajos niveles de biodiversidad. Ya que cuando se está preparando el suelo para la siembra, hay dos desventajas: la inexistente cubierta vegetal para que aproveche la energía solar en fotosíntesis y a la reducción de la materia orgánica por insolación directa y por efecto de la aireación adicional que trae el movimiento del suelo.

## **6.6 AGRO-ECOSISTEMAS DE PASTIZALES**

Los agro-ecosistemas de pastizales son dominados principalmente por vegetación de pasto, trébol y algunas hierbas o gramíneas que cubren en su totalidad el suelo para ser utilizados en el consumo directo del ganado. De igual forma la protección que brinda el sistema radicular de este tipo de vegetación es muy importante ya que impide la erodabilidad del suelo, facilita la infiltración y regula algunos ciclos biogeoquímicos propios de estos sistemas.

## **6.7 SUELOS ÁNDICOS**

Estos suelos, llamados Andosoles, ó Andisoles, tienen como característica fundamental un alto contenido (>50%) de materiales amorfos (alófono), mezclados con haloisita en suelos mas desarrollados, con un horizonte A muy oscuro (“ando”; suelo oscuro en japonés), friable, difícil de dispersar y de textura relativamente gruesa al tacto, con una densidad aparente baja (0.3-0.8 g/cc), y un alto contenido (10-20%) de materia orgánica. Los Andisoles se presentan más generalmente en áreas montañosas y pendientes de (20-50 %) que facilitan el drenaje, con alturas (>700 m.s.n.m) y climas húmedo a sub-húmedo que mantenga temperaturas frescas y un régimen hídrico de carácter údico, lo cual a su vez permite la acumulación de materia orgánica (M.O) y la formación de complejos alófono-MO muy estables, que son determinantes para el desarrollo de cualquier agro-ecosistema. (Pla, 1992).

## **6.8 MATRICES DE INTERACCIÓN**

Este un método matricial de interacción empleado en estudios de evaluación de impacto ambiental, funciona como una lista de control bidimensional, disponiendo a lo largo de sus ejes verticales y horizontales las acciones ó etapas de una intervención y los factores ambientales que podrían ser afectados, lo cual permite asignarles en las cuadrículas correspondientes las interacciones ó posibles impactos de cada acción sobre los componentes por ellos modificados; esta matriz permite tener una visión integrada de los efectos de las etapas de intervención consideradas sobre los componente biofísicos, socioeconómicos y culturales. (Figueroa, 1998).

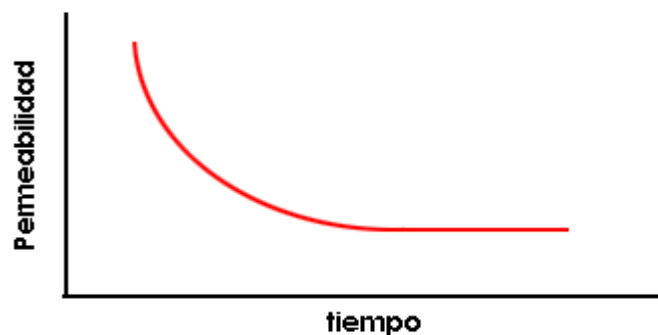


los suelos esta propiedad se determina bajo las formas de densidad real o especifica y densidad aparente. La diferencia entre una y otra radica en que se incluya o no en la determinación del volumen total de espacio porosos (densidad aparente), o el ocupado exclusivamente por las fracciones minerales y de organismos, excluyendo cualquier espacio de poro (densidad real). Montenegro y Malagon (1990).

### 6.9.3 Permeabilidad

La mejor forma de dar a conocer un suelo es clasificarlo de acuerdo con su grado de permeabilidad, puesto que representa la facilidad de circulación del agua en el suelo bajo la acción de la gravedad y depende de la porosidad del suelo, la viscosidad y densidad de los líquidos. Es un parámetro muy importante que influirá en la velocidad (ver figura 8) con que el agua pasa a través del espacio poroso cuando se encuentra saturado en un lapso de tiempo.

Figura 8. Curva de permeabilidad



### 6.9.4 Porosidad

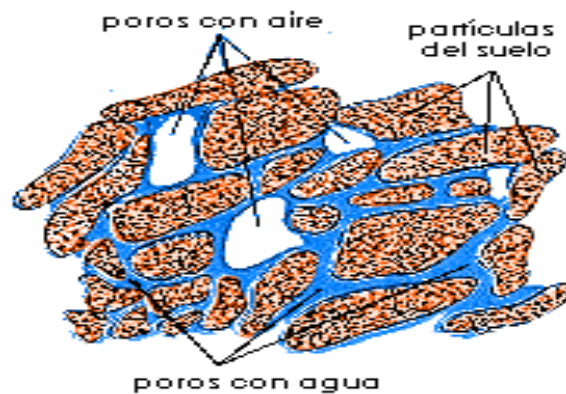
La distribución de los poros por tamaño en el perfil del suelo, es de primordial importancia ya que de ella depende la permeabilidad, retención de humedad y aireación. La macroporosidad es responsable de esta última propiedad y debe ser mayor del 10% para que no restrinja la proliferación de raíces. La microporosidad determina la capacidad de retención de agua del suelo. La relación existente entre meso y micro porosidad, cuyo límite ha sido establecido en 60 micras, se considera una proporción adecuada, cuando el 50 % de la porosidad total esta constituida por macro poros (> 60 micras) y el otro 50 % por meso y micro poros (para otros autores la micro porosidad debe ser 2/3 partes de la porosidad total). Para obtener una buena suplencia de oxígeno para las raíces, la macro porosidad debe constituir al menos un 10% de la porosidad total. (Fletcher y Lombana,1982).

### 6.9.5 Humedad

El agua del suelo está íntimamente relacionada con un sinnúmero de propiedades, ver (figura 9), entre las que cabe mencionar: presencia, cantidad y tipo de coloides; cantidad y distribución del espacio poroso, en especial el microporoso; permeabilidad; escorrentía; nivel freático; drenaje natural y presencia de capas

endurecidas todas relacionadas con la pedogénesis y el manejo de los suelos. (Malagon, 1995). Las fuerzas que retienen el agua en el sistema son la causa de que se requiera una energía superior para que pueda ser utilizada por la planta; esta energía está definida por el poder radical para extraer dicho elemento, aunque el mecanismo en sí implica un proceso difuso, más que un gasto de energía. Cuando la planta no alcanza a extraer mas agua y se marchita, se llega al llamado Punto de Marchitamiento Permanente (PMP); pero, si por el contrario el agua es retenida con poca energía por el suelo, se tiene la Capacidad de Campo (CC). La diferencia en contenido de agua entre estos dos puntos constituye la humedad aprovechable (HA) por las plantas. Fernández (1965) en (Montenegro, 1990). Los cambios climáticos estacionales, y concretamente las precipitaciones atmosféricas, hacen variar los porcentajes de cada fase en cada momento.

Figura 9. Porosidad en el suelo



#### 6.9.6 Materia orgánica

Toda la variedad de sustancias orgánicas del suelo puede ser sistematizada en dos grupos fundamentales: las materias orgánicas de naturaleza individual y las sustancias húmicas propiamente dichas. El primer grupo está formado por restos orgánicos, y representa los productos de su descomposición o los productos de la actividad vital (metabolismo y resíntesis) de la población viva (proteínas y aminoácidos, hidratos de carbono simples y compuestos, ácidos orgánicos de distinta naturaleza, ceras, resinas, ligninas y otros). En suma los compuestos orgánicos de naturaleza individual constituyen en los suelos minerales aproximadamente el 10-15% de la reserva total de materia orgánica. El segundo grupo constituye la porción principal de la parte orgánica del suelo, es decir hasta el 85-95 % de la reserva total de humus.

La acción de las sustancias orgánicas es responsable en gran medida de la formación del suelo y existen motivos para considerar que los pioneros en dicho proceso son los microorganismos, los cuales constituyen un eslabón fundamental en el ciclo del hierro, azufre, calcio, silicio, fósforo, y otros elementos. Malagon (1995).

### **6.9.7 pH**

El pH del suelo refleja muchas condiciones existentes en el suelo. La actividad de iones  $H^+$  regula la actividad o disponibilidad de los otros iones es decir regula las propiedades químicas del suelo. El pH regula y dispone la actividad física del suelo, la desaturación va acompañada de una peptización de los coloides, este fenómeno disminuye la permeabilidad que es una propiedad física del suelo. El movimiento hacia arriba y hacia abajo los componentes del suelo depende del pH. El pH regula la actividad biológica del suelo, condiciones de la fertilidad de este o sea la posibilidad de desarrollo de una planta o una población microbiana. Bravo y Giraldo (1998).

### **6.9.8 Aluminio intercambiable**

El concepto de acidez del suelo ha sufrido modificaciones de fondo en los últimos años. Inicialmente se aceptó la teoría de las arcillas como ácidos débiles. Al respecto, Bradfield, citado por (Bornemisza, 1965) propuso que los suelos ácidos eran aquellos cuyo complejo de cambio se encontraba saturado en un grado mayor o menor con iones hidrógeno, es decir, que el hidrógeno intercambiable era la causa de la acidez del suelo. Sin embargo, varios investigadores han demostrado que las arcillas ácidas contienen muy poco o nada de hidrógeno intercambiable y que el Al intercambiable es el catión dominante asociado con la acidez del suelo. Actualmente el concepto de la acidez de un suelo ácido implica la acción de los iones  $H^+$  y  $Al^{+++}$ , aluminio hidratado y diversos polímeros de aluminio.

La presencia de valores absolutos altos de Aluminio intercambiable, de por si es indicativa de condiciones fuertemente acidas y, con bastante lógica, permite predecir graves problemas en la producción de cosechas (Abruña et. al, 1974). Las reacciones mas importantes de la acidez en suelos ácidos, son producidas por los aluminio-silicatos de los minerales de las arcillas y el aluminio intercambiable del suelo; los óxidos hidratados de  $Al^{+++}$  y  $Fe^{+++}$ ; el humus o la materia orgánica del suelo; y las sales solubles. (Amezquita, 1995).



## 7. ANTECEDENTES

Las primeras investigaciones científicas sobre la erosión fueron llevadas a cabo por el edafólogo alemán Wollny, entre 1877 y 1895. Utilizaron parcelas para medir, el papel de la vegetación y el “mulching” en la intercepción de la lluvia, el deterioro de la estructura del suelo, los efectos del tipo de suelo y la pendiente en la evaluación de la erosión. Las primeras publicaciones sobre experimentos cuantitativos en parcelas fueron hechas en 1923 por Forest Service y, seguidas por Miller en Missouri. Todos estos trabajos se limitaron a la investigación aplicada, en la que los problemas se estudiaban bajo condiciones ambientales. Hudson (1982).

En la década de los años 1930 los estudios se basaron en la prevención de la erosión por salpicadura con investigadores como Baver, Borst, Woodburn y Musgrave, que encauzaron el primer estudio detallado de la lluvia natural de Law en 1940 y el primer análisis de la acción mecánica de las gotas de agua sobre el suelo, de Allison en 1944 quien descubre el verdadero papel de la lluvia en los procesos de erosión hídrica demostrando que los efectos protectores de la cobertura vegetal se debe al hecho de que priva a las gotas de lluvia de su energía cinética. Citados en Hudson (1982).

El punto de partida para las expresiones numéricas de la erosión fue, probablemente, la obra de Zingg en 1940, que evaluó los efectos de la longitud y la pendiente. Poco después, Smith en 1941 definió el término de pérdida admisible de suelo y realizó la primera evaluación de un factor de cultivo y de otro factor correspondiente a los distintos tipos de protección mecánica. Citados en Hudson (1982).

Posteriormente Musgrave en 1947 añadió un factor de clima basado en la precipitación máxima en 30 minutos con un periodo de retorno de dos años. Más adelante Smith en 1958 considera el factor de cultivo teniendo en cuenta el grado de protección del suelo suministrado con la cobertura vegetal. Luego de estas investigaciones fue planteada la ecuación universal de pérdida de suelo (USLE) por Wischmeier y Smith en 1962 a partir de los datos obtenidos en más de 10.000 parcelas agrícolas experimentales ubicadas en 49 localidades de las principales áreas agrícolas del Este de Mississippi en Estados Unidos dando lugar a la formulación de la USLE en su última versión en el año de 1978 y cuya expresión es la siguiente:

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

**A:** Valor promedio pérdidas de suelo anuales (ton/ha/año).

**R:** Factor erosividad de la lluvia o índice de erosión pluvial.

**K:** Factor erosionabilidad del suelo.  
**L:** Factor longitud del declive.  
**S:** Factor pendiente del declive  
**C:** Factor cobertura vegetal.  
**P:** factor practicas de conservación de suelos. Citados por Diez (s.f)

Desde el año 1930, diversos investigadores han diseñado y hecho uso de simuladores de lluvia en sus experimentos, variando los equipos de acuerdo a los objetivos perseguidos, los recursos disponibles y el nivel de conocimiento alcanzados. Entre los modelos se encuentra el EPIC, creado para simular el impacto de la erosión sobre la productividad de los suelos, utilizan parcelas de escorrentía que permiten comparar los resultados, con los simulados con el modelo de regresión lineal, teniendo como base información climática (radiación, humedad relativa, temperatura máxima y mínima y velocidad del viento). Arroyave et al (2000).

Puentes et al. (1987) buscó desarrollar un simulador de lluvias de bajo costo, destinado a ensayos de campo para determinación de pérdida de suelo, erodabilidad e infiltración. Utilizando 3 aspersores Vee - Jet 80 – 100 a 2.40 m de altura a 0.3 Kg. / cm<sup>2</sup> de presión, que asperjan sobre dos parcelas. La energía proviene de un generador eléctrico portátil de 220 V.

Rodríguez (1987) diseñó y construyó un simulador de lluvia “tipo boquilla” tanto para laboratorio como para campo que le permitiera tener una mayor uniformidad de la lluvia y un bajo costo de construcción. Este equipo se caracteriza por trabajar con un amplio rango de intensidades de lluvia (30 – 150 mm/h), siendo la energía cinética unitaria similar a la de las lluvias naturales en el rango (50 – 70 mm/h). Las aplicaciones en investigaciones son múltiples, como por ejemplo: estudios de erodabilidad relativa de suelos, evaluaciones de tratamientos para el control de erosión, estudio de problemas de encostramiento y sellado de los suelos, estudio de relaciones suelo-agua – planta, establecimiento de coeficientes de escorrentía relativos para diferentes condiciones.

Pla y Col (1978) desarrollaron y utilizaron tres tipos de simuladores de lluvia denominados de “laboratorio”, “invernadero” y “campo”. Las principales características del simulador de campo son las siguientes: sistema formador de gotas, tres bandejas de latón rectangular, intensidad de precipitación de 70 – 100 mm/h. Para la determinación de infiltración, escorrentía y erosión del agua de lluvia en condiciones de campo.

Obando (2000) con base en resultados de pérdida de suelo, a través de mallas de diferente diámetro para sombrío, en oxisoles de los Llanos Orientales de Colombia, los compara con la cobertura vegetal ofrecida por el pasto *Brachiaria decumbens*.

Cobo (1998) describe el diseño, construcción y evaluación de un minisimulador portátil de lluvia para zonas de ladera que permita determinar “in situ” la susceptibilidad de los suelos a la erosión. El minisimulador consta de: a) un sistema formador de gotas que opera con el principio de Vaso de Mariotte, b) soporte para laboratorio y campo, d) un morral para transporte. Los parámetros de evaluación en el minisimulador fueron: tamaño de gota con rangos entre 2.5 a 4.0 mm, intensidad entre 40 y 120 mm/h, velocidad terminal, momento de ímpetu y energía cinética. El equipo sirve para hacer mediciones de infiltración del suelo en áreas de ladera y de sellamiento superficial.

En el Departamento del Cauca se han desarrollado trabajos de investigación por parte del Programa de Conservación de Suelos, evaluando la cantidad de suelo erodado bajo diferentes sistemas de manejo en las localidades de Santander de Quilichao y Mondomo en esta zona Torres (2000). Utilizo un minisimulador de lluvia a intensidades de 80 y 120 mm/h<sup>-1</sup> en suelos con sistemas de manejo establecidos, evaluó infiltración, escorrentía y cantidad de suelo erodado al igual que algunas características físicas y químicas. Llegando a concluir que el comportamiento del suelo erodado, bajo las condiciones del simulador, presentó relaciones matemáticas específicas con la infiltración, escorrentía y la intensidad de la lluvia. Destaca que los tratamientos de rotación intensiva y yuca en monocultivo respecto a la variable pérdida de suelo generan (32.74 - 119.33 g/m<sup>2</sup>); (119.33 – 29.49 g/m<sup>2</sup>). El comportamiento de estos dos tratamientos obedece al uso más intensivo del suelo, el cual reduce la capacidad de infiltración en macro poros y porosidad total. También reporta que las diferencias en las pendientes no influyen en la pérdida de suelo, lo cual es explicado por que la longitud en la pendiente de evaluación es muy corta y los flujos de escorrentía no alcanzan altas velocidades.

Campo (2004) en su trabajo de grado titulado evaluación de la susceptibilidad a la erosión hídrica, del contenido de materia orgánica y de las propiedades físicas, en un oxic dystropept bajo seis historias de uso intensivo, en Pescador Cauca a una altura de 1600 m.s.n.m, mediante el uso de un minisimulador de lluvia. Reporta el minisimulador como una herramienta sensible para evaluar la susceptibilidad a la erosión, permitiendo comparar tratamientos con respecto a las variables de medición: pérdida de sedimentos, escorrentía e infiltración. Obteniendo valores de pérdida de suelo para intensidades de 80mmh<sup>-1</sup> en tratamiento de suelo desnudo como el que genera mayor pérdida de suelo (0.2612ton ha<sup>-1</sup>). Al igual que la intensidad de 120 mm h<sup>-1</sup> con (2.3597 ton ha<sup>-1</sup>).

La investigación realizada por (Betancourt, 2000) en México a una altura de 2550 m.s.n.m, en suelo seco y suelo húmedo. Reporta que para intensidades de 70 mm h<sup>-1</sup> la mayor producción de sedimentos corresponde a las parcelas de suelo desnudo presentando valores de 264.6 y 221.8 g m<sup>-2</sup> mientras que los valores de pasto *rhodes* fueron 111.7 y 97 g m<sup>-2</sup> respectivamente. De igual forma para intensidades de 120 mm h<sup>-1</sup> presentando en suelo desnudo 1002.9 y 890.3 g m<sup>-2</sup> – 188.5 y 161.8 para pastos.

Montoya y Obando (2002) evalúan la capacidad de protección al suelo con especies forrajeras gramíneas y leguminosas de uso común en la cuenca del río Coxcacoco en el estado de México. Utilizando un simulador de lluvia tipo Morin a intensidades de 50, 70, 120 mm/h en dos condiciones de humedad del suelo para determinar la infiltración, el escurrimiento superficial y las pérdidas de suelo en lotes de escurrimiento. Los resultados indican que son necesarias lluvias mayores a 50 mm/h en suelos de cobertura vegetal para producir escurrimiento. Los valores más altos de pérdida de suelo en las tres intensidades de lluvia se observan en condiciones de suelo húmedo, siendo los mayores valores los correspondientes a suelos desnudos y los menores a las praderas con cobertura de pasto rodees.

En Colombia organizaciones como INDERENA, IGAC y el IDEAM (2001) han adelantado estudios sobre erosión durante tres décadas en los que se reporta que un alto porcentaje del territorio esta afectado por erosión como lo muestra la tabla1.

Tabla 1 Erosión en Colombia

Estudio	Década representativa	Escala de trabajo	Intensidad de degradación (%)	Erosión (%)
INDERENA, 1977	70	1: 1'000.000	.Sin erosión .Erosión hídrica .Remoción en masa .Erosión eólica	24,8 51,4 23,5 0,3 75,2
IGAC, 1986	80	1: 3'400.000	Sin erosión y otras áreas .Muy ligera .Ligera .Moderada .Severa .Muy severa	50,51 4,96 23,11 12,9 7,9 0,73 49,6
IDEAM, 2001	90	1: 500.000	.Sin degradación .Muy baja .Baja .Moderada .Alta .Muy alta	52 4,6 9,5 8,9 10,8 14,2 48

## **8. METODOLOGÍA**

Para evaluar la susceptibilidad a la erosión se utilizó como herramienta básica un minisimulador de lluvia que utiliza el sistema de Vaso de Mariotte diseñado por Cobo (1998) que permite tomar mediciones de: infiltración, suelo y escorrentía superficial por efecto de las gotas de lluvia. Complementado con el análisis en laboratorio de algunas propiedades físicas y químicas en suelos. Teniendo como precedente la metodología utilizada por Torres (2000) y Campo (2004).

Se estableció un diseño experimental completamente al azar con tres repeticiones por muestreo durante una temporalidad de 6 meses, teniendo en cuenta el tipo de pendiente entre los rangos 15; 25 y 50% para realizar las simulaciones pertinentes, considerando el uso y manejo del suelo (pastura y cultivos de papa), intensidad de la lluvia ( $100 \text{ mm h}^{-1}$ ) y un diámetro de gota de lluvia de ( 2.75 mm) mas el tiempo requerido para cada simulación (30 minutos) con toma de muestra cada cinco minutos. Para establecer un total de 108 muestreos en seis parcelas.

Para el logro de los objetivos propuestos se plantearon seis fases en el estudio:

- Reconocimiento del área de estudio y levantamiento de base cartográfica.
- Calibración del minisimulador de lluvia.
- Trabajo en campo con el minisimulador.
- Evaluación de las características físicas y químicas del suelo en laboratorio.
- Análisis estadístico.
- Fase de Espacialización de los datos obtenidos en (SIG).
- Evaluación ambiental de las actividades antrópicas del sector.

### **8.1 RECONOCIMIENTO DEL ÁREA DE ESTUDIO**

El reconocimiento del corregimiento de Gabriel López, se desarrollo por medio de caminatas y utilizando fotografías aéreas para alcanzar un mayor nivel de detalle, identificando y georreferenciando los sistemas productivos mas representativos de la zona para elegir una finca o área piloto, que permita hacer un análisis a pequeña escala de la susceptibilidad de estos ecosistemas a la erosión. En este mapa se ubicaron las seis áreas de muestreo para los sistemas con monocultivo de papa y ganadería de tipo extensiva con sus respectivos valores de escorrentía, suelo erodado e infiltración, con reporte de la vegetación presente y relieve.

### **8.2 CALIBRACIÓN DEL MINISIMULADOR DE LLUVIA**

Inicialmente se realizaron simulaciones en el corregimiento de Gabriel López para verificar el funcionamiento del minisimulador en ecosistemas altoandinos y

controlar la intensidad, utilizando agua de una quebrada cercana previamente filtrada, con agujas hipodérmicas número 24, que generan un diámetro de gota aproximado de 2.75 mm, que según (Cobo, 1998 y Law, 1941) producen con una velocidad terminal de  $4.04 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ , por espacio de media hora y una energía cinética de lluvia de  $17.96 \text{ J}/\text{mm}\cdot\text{m}^2\text{hora}$ .

### 8.2.1 Erosividad de la lluvia

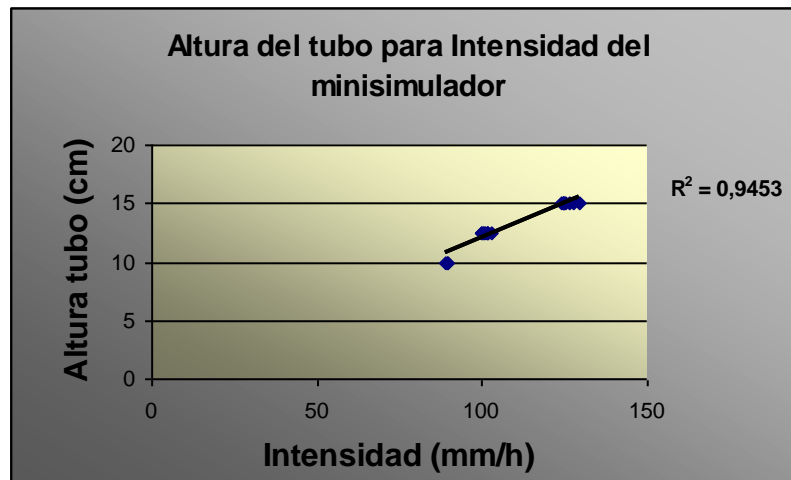
Según Morgan (1986), la erosividad de la lluvia es una función de su intensidad y duración, masa, diámetro y velocidad terminal de las gotas. Por esta razón es de gran importancia especificar cada uno de estos aspectos.

#### 8.2.1.1 Intensidad y distribución de las gotas de lluvia

Para determinar que la distribución de las gotas de lluvia fuera lo más homogénea posible se colocaron en el área que cubre la bandeja de escorrentía 16 recipientes de diámetro conocido y se midió su volumen cada cinco minutos durante media hora a diferente altura del tubo, logrando obtener una distribución lo más uniforme posible en todos los recipientes.

La altura de tubo que mejor se acoplo a la intensidad de  $100\text{mm}/\text{h}^{-1}$  fue 12.5 como lo muestra el grafico de la figura 10.

Figura 10. Calibración de la intensidad para el minisimulador



La intensidad se logra usando un embudo de plástico que cubre completamente el sistema formador de gotas de lluvia, un recipiente para medir el volumen, para cada altura del tubo y un cronometro aplicando la ecuación numero 1.

$$I = (V/A) \quad (1)$$

Donde **I** es la intensidad en milímetros (mm), **V** es el volumen recolectado en mililitros (mL), **A** es la medida del área del simulador en centímetros cuadrados ( $\text{cm}^2$ ). Se determina un tiempo fijo en que se colectara la lluvia. Teniendo en

cuenta que la presión se puede regular al subir o bajar el tubo y al graduar la llave de la manguera.

### **8.2.1.2 Diámetro de las gotas de lluvia**

Basado en la documentación del tamaño de gotas erosivas en lluvias naturales se determina que los rangos entre 1 a 4 mm son los de mayor impacto, y teniendo en cuenta que en lluvias naturales se presentan escalas de gotas entre 0 hasta 7 mm de diámetro, se utilizara en el minisimulador agujas numero 24 que producen un diámetro de gota aproximado de 2.75 mm según reportes de Cobo (1998).

### **8.2.1.3 Velocidad terminal de las gotas**

La velocidad terminal es una condición ideal, es decir, es la máxima velocidad de una gota cuando cae a través de una columna de aire. La velocidad de terminal para gotas de diámetro 2.75 mm se tomo como  $4.04\text{ms}^{-1}$  según lo reporta Law 1941 (Citado por Cobo 1998).

## **8.3 TRABAJO EN CAMPO CON EL MINISIMULADOR.**

Antes de realizar la simulación se hace una confrontación buscando las pendientes propuestas dentro del diseño experimental (15,25,50%), procediendo seguidamente a georreferenciar él área indicada teniendo en cuenta las condiciones ambientales presentes (estado del suelo, estado del tiempo, vegetación asociada). Como primera medida se hace una limpieza del área eliminando los materiales que puedan afectar la caída de la lluvia o el libre movimiento de está. Posteriormente se instala las bandejas colectoras enterrándola lo suficiente para que quede firme y permita el flujo constante de la escorrentía. En los extremos de la bandeja hay dos orificios que recogen el salpicado y en ellos son ubicados los recipientes para recoger los productos de este proceso, lo mismo se hace con el colector de sedimentos. Seguidamente se coloca el trípode de tal manera que forme un ángulo recto con la pendiente o el suelo para poder sobreponer el distribuidor de gotas de lluvia. Se procede a llenar abastecedor de agua y se calibra para la precipitación deseada (100 mm/h). Se hace una primera simulación protegiendo la superficie de suelo para calibrar la intensidad y que las gotas de agua estén distribuidas homogéneamente. Cuando el equipo ya está calibrado y el agua cae justo sobre el área de suelo escogido, se quita la tapa de acrílico que cubre el área de estudio. Si hay algunos factores ambientales que influyan como el viento que impide la caída del agua sobre la zona, se utiliza una cortina de protección o se busca la forma que estos fenómenos no interfieran en la simulación.

### **8.3.1 Variables a evaluar**

Las variables a evaluar teniendo en cuenta los instrumentos a utilizar (minisimulador de lluvias) y las condiciones ambientales (suelo, clima y topografía), que proporciona el área de estudio son las siguientes:

**Escorrentía superficial**  
**Suelo erodado “erosión”**  
**Infiltración**

**8.3.1.1 Escorrentía superficial**

La escorrentía se determina tomando el volumen de agua y suelo arrastrado por cada simulación realizada a intervalos de cinco minutos durante media hora, de esta forma se observa el comportamiento de la escorrentía, la infiltración y el suelo erodado en el tiempo, a una intensidad de lluvia constante  $100\text{mmh}^{-1}$ . La escorrentía se mide en mm.

**8.3.1.2 Infiltración**

Se determina de la diferencia entre la cantidad aplicada por el minisimulador y los datos obtenidos en el volumen de escorrentía superficial y salpicado en cada simulación, deduciendo de tal forma que el volumen de agua faltante es el adsorbido por el suelo, correspondiente a la infiltración.

**8.3.1.3 Suelo erodado**

Se determina a partir del volumen total de escorrentía superficial después de media hora de lluvia, y luego de sedimentado el suelo en el fondo del recipiente se eliminando el exceso de agua, y se somete a una temperatura de  $105\text{ }^{\circ}\text{C}$  durante 24 horas para obtener el peso en gramos de suelo seco.

**8.4 EVALUACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y QUÍMICAS EN LABORATORIO O DETERMINACIÓN DE LA ERODABILIDAD DEL SUELO**

Para el estudio de algunas propiedades físicas se toman muestras de suelo disturbadas y sin disturbar en cada lugar de simulación y de esta manera realizar su respectivo análisis en laboratorio, teniendo en cuenta que las cualidades de los agregados se puedan medir u observar sin que cambie la composición o identidad de la sustancia.

**8.4.1 Textura**

El análisis de la distribución de partículas del suelo se hace, generalmente, por sedimentación en agua (figura 11) con el método hidrométrico o de Bouyoucos que determina después de 40 segundos, todas las partículas mayores de 50 micras que sedimentan, de tal manera que no tendrán ninguna influencia sobre el hidrómetro. Este procedimiento entrega directamente el contenido en porcentaje de la fracción de un diámetro x.



Figura 11. Prueba de textura



### 3.4.1 Densidad aparente ( $D_a$ )

Para determinar este parámetro se utilizará el método del cilindro, que consiste esencialmente en tomar una muestra de suelo sin disturbar en un cilindro (figura 12) de un volumen conocido, los cilindros metálicos (acero inoxidable) que se utilizan para la prueba miden 5 cm. de alto por 2.5 cm. de radio. Montenegro y Malagon (1990). Los cálculos se realizaran a partir de la ecuación 2 y 3:

$$D_b = M_{ss} / V_c \quad (2)$$

$$V_c = \pi \cdot r^2 \cdot h \quad (3)$$

Donde:  $D_b$  es la densidad aparente en  $g/cm^3$ ;  $M_{ss}$  es la masa del suelo seca a  $105^\circ C$  en g;  $V_c$  es el volumen del cilindro donde se toma la muestra de suelo,  $cm^3$ .

Figura 12. Cilindros para determinación de densidad aparente



#### 8.4.2 Densidad real ( $D_R$ )

El método del picnómetro es el más empleado para medir la densidad real. Se basa en determinar la masa y el volumen de los sólidos del suelo a través de un frasco de un volumen conocido (figura 13). El picnómetro que se utiliza es de 200 ml con tapa. (Montenegro y Malagon, 1990). Para determinar este parámetro se utiliza la fórmula 3:

$$\text{Densidad Real } D_R = \text{Peso del suelo seco al aire (g)} / \text{Volumen del suelo (cm}^3\text{)}. \quad (3)$$

Figura 13. Prueba de densidad real



#### 8.4.4 Permeabilidad

Se realiza a partir de la prueba de permeabilidad de cabeza variable o decreciente ver figura 14. En el ensayo se mide la velocidad con la cual desciende el nivel del agua en una bureta mientras que el nivel en V permanece constante. El agua pasa por el tubo de sección transversal "a" a la muestra de área A y de allí al recipiente V de nivel constante; abierto a la atmósfera para liberar presiones. El ensayo en si consiste en cronometrar el tiempo en el cual el agua desciende de un punto a otro en la bureta; debe evitarse que se formen vías preferenciales de filtración entre las paredes del permeámetro y la muestra. Los cálculos se realizan de acuerdo a la ecuación 4 y 5.

$$K = 2.3 \ a \ x \ L / A \ x \ t \ \log_{10} h_1 / h_2 \quad (4) \quad \text{o} \quad K = a \ x \ L / A \ x \ t \ \ln h_1 / h_2 \quad (5)$$

**a** = Sección transversal de la bureta (cm<sup>2</sup>).

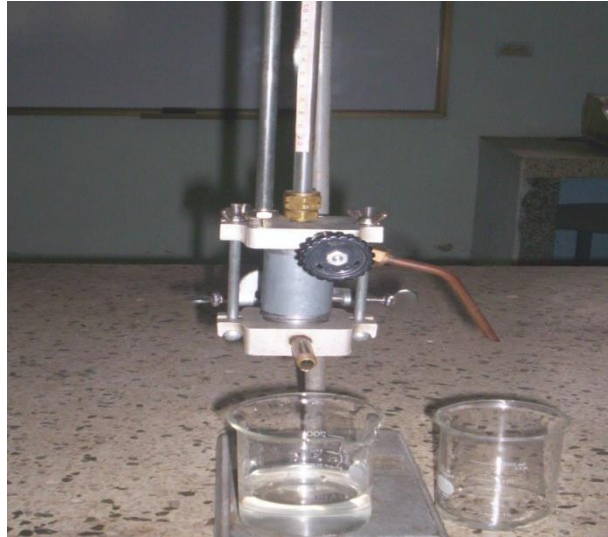
**L** = Longitud de la muestra (cm).

**A** = Sección transversal de la muestra (cm<sup>2</sup>).

**t** = Tiempo en el cual desciende el nivel del agua de un punto a otro de la bureta.

**h<sub>1</sub>** = Carga inicial en el instante t<sub>1</sub> y **h<sub>2</sub>** - carga final en el instante t<sub>2</sub>

Figura 14. Permeámetro.



#### 8.4.5 Porosidad

Mediante la diferencia del valor de la densidad real y la densidad aparente puede obtenerse la porosidad total; esto equivale a la suma de la porosidad no capilar más la porosidad capilar; la primera esta relacionada con la aireación (intercambio gaseoso) y la segunda con la retención de la humedad. (Montenegro, 1990).

#### 8.4.9 Determinación de humedad de campo

Se toma a partir de una muestra de suelo húmedo 10 g de suelo en una cápsula previamente tarada para ser introducida destapada en la estufa y mantenerla a 105 °C durante 24 horas. Posteriormente se deja enfriar la muestra en el desecador y se pesa. (Bravo y Giraldo, 1998).

#### 8.4.5 Determinación de materia orgánica en el suelo

Se determina mediante el método de Walckley - Black. El cual consiste en oxidar el carbono presente en el suelo con un oxidante en medio ácido, utilizando como oxidante  $K_2Cr_2O_7$  1N y como medio,  $H_2SO_4$  concentrado. Como queda materia orgánica que no se oxida y  $K_2Cr_2O_7$  que sobra después de la reacción entonces se valora volumétricamente lo que queda de  $K_2Cr_2O_7$  con una solución de sulfato ferroso amónico  $FeSO_4$ , utilizando un blanco que conste de  $K_2Cr_2O_7$  1N con  $H_2SO_4$ . Para el análisis en laboratorio se toman muestras de 0.1 g ya que la cantidad de muestra que se utiliza para dicho método depende del color del suelo y los cálculos se efectúan de acuerdo a la ecuación numero 6 (Bravo y Giraldo, 1998).

$$\% \text{ C orgánico} = (B - M) \times N \times 0.003 \times (100 + P_w) / P_m \quad (6)$$

Donde N es la normalidad de la solución ferrosa; M es el volumen de la solución ferrosa utilizada en la muestra; B es el volumen de la solución ferrosa utilizada en

el blanco;  $P_m$  es el peso de la muestra en gramos;  $P_w$  es la humedad en porcentaje.

#### **8.4.7 Determinación del pH**

El pH se determina por medio de un potenciómetro teniendo en cuenta las siguientes precauciones. Frecuentemente el electrodo de vidrio reacciona lentamente a los cambios de pH. Esto puede ser debido a partículas de arcilla o de carbonatos adherido al bulbo del electrodo y que no se pueden eliminar por simple lavado con agua destilada.

#### **8.4.6 Aluminio intercambiable**

Las muestras son tomadas desde la superficie del suelo hasta una profundidad de 20 cm., secadas al aire y pasadas por un tamiz de 2 mm. Posteriormente mezcladas y homogeneizadas. Consiste en agitar una muestra de suelo con una solución neutra de KCL de una concentración tal que produzca un desplazamiento de todos los iones presentes en el suelo, liberando así los iones  $H^+$  y  $Al^{+3}$ , los cuales son titulables con soda en presencia de fenolftaleina. Una vez titulados estos iones, quedando en forma de  $Al(OH)_2^{+2}$  se valora el  $Al^{+3}$  presente en forma hidratada. Posteriormente se utiliza el spectroquant NOVA 60 por medio de los kits fotométricos para la determinación del Al.

### **8.5 ANÁLISIS ESTADÍSTICO**

Los valores obtenidos de escorrentía, infiltración y suelo erodado se procesaron con el Programa Estadístico SPSS 11.5 para Windows. Con este paquete se calculó los estadísticos descriptivos, las Pruebas de los efectos Inter.-Sujetos, estadísticos de contraste con la Prueba de Mann-Whitney<sup>(a)</sup> para uso de suelo, Análisis de Varianza Multifactorial (ANOVA) de una vía, prueba de Duncan, Matriz correlación de Rho Spearman y regresiones lineales. Para un diseño completamente al azar, buscando diferencias entre tratamientos.

### **8.6 ESPACIALIZACIÓN DE LOS RESULTADOS POR MEDIO DE SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (SIG)**

En el desarrollo de este componente se utilizaron, fotografías aéreas, cartografía base, e información de campo. Con el propósito de generar un mapa temático de susceptibilidad a la erosión bajo sistemas de manejo en cultivo de papa y ganadería extensiva a una intensidad de lluvia de  $100\text{mm/h}^{-1}$ . A los cuales se les adiciono los datos obtenidos de suelo erodado.

### **8.7. EVALUACIÓN AMBIENTAL DE LA GANADERÍA EXTENSIVA Y EL CULTIVO DE PAPA**

Utilizando el método de Matrices de FEARO, se realizó una evaluación preliminar del efecto que tienen la ganadería y el cultivo de papa sobre los diferentes

componentes de un ecosistema altoandino, teniendo presente cuales son las actividades que con mayor frecuencia se realizan en el sector para su implantación.

## 9. RESULTADOS Y DISCUSIONES

### 9.1 Análisis de las propiedades físicas y químicas o determinación de la erodabilidad del suelo

Al observar la columna de nivel de significancia observado (sig), con la prueba U de Mann-Whitney se pueden presentar los siguientes análisis estadísticos referentes a las propiedades físicas y químicas que determinan la erodabilidad del suelo en agro-ecosistemas altoandinos.

#### 9.1.1 Densidad real

Los valores de densidad real obtenidos se encuentran dentro de un rango bajo, como puede ver en la Tabla 2 y se podría explicar debido al contenido de materiales piroclásticos y orgánicos presentes en suelos ándicos.

Los tratamientos muestran una leve diferencia en el sistema de suelo desnudo respecto a esta variable, con valores más bajos que el de pastura pero que no llegan a ser significativos debido a las actividades agrícolas que en el se desarrollan y la falta de cobertura vegetal.

Al hacer una comparación se puede observar como los menores valores de materia orgánica coinciden con los valores bajos de densidad real, con lo cual se puede asumir que la materia orgánica afecta el valor de la densidad real. Ya que la gravedad específica de la materia orgánica se encuentra cerca de 1.4 g/cc, la cual parece ser el factor que más influye.

Tabla 2 Propiedades físicas y químicas del suelo aplicando la prueba U de Mann-Whitney

VARIABLE	Pastura	Cultivo	Sig. Asintónica (bilateral)
%Arena	7,45	19,94	0,05
%Limo	87,4	72,5	0,05
%Arcilla	5,14	7,53	0,04
Textura	Li	FrLi	
Porosidad total %	78,15	75,75	0,05
Densidad Real g/cc	2,19	2,17	0,51
Densidad Aparente g/cc	0,48	0,53	0,28
Permeabilidad cm/seg	4,5x10 <sup>-4</sup>	3,3x10 <sup>-4</sup>	0,05
Humedad % de campo	152,8	95,8	0,05
% M.O	29,43	28,16	0,12
pH	4,92	4,96	0,18
Al+3 Intercambiable(meq/100g)	3,25	1,88	0,05

### **9.1.2 Densidad aparente**

Los valores reportados en la Tabla 2 para esta propiedad son bajos lo cual se puede atribuir a que estos suelos son de origen volcánico y de alto contenido orgánico. A pesar de verse afectados por las labores agrícolas en algunos horizontes Ao se presentaron diferencias entre pastura y el suelo desnudo pero que no alcanzan a ser significativas estadísticamente, con valores bajos y altos respectivamente. Esto es acorde con la porosidad total ya que al existir un mayor espacio aéreo la densidad aparente tiende a disminuir, ya que la macroporosidad es la responsable del movimiento gravitacional del agua en el suelo.

La densidad aparente refleja la compactación y facilidad de circulación de agua y aire. A medida que se aumenta la densidad aparente se reducen la porosidad total, la humedad del suelo, la conductividad del agua a través del perfil y la actividad de los microorganismos.

### **9.1.2 Porosidad**

La porosidad total para todos los tratamientos es alta con valores superiores al 74.91%. En la Tabla 2 se puede observar que la porosidad total y la densidad aparente son inversas o sea que a mayor porosidad total menor es la densidad aparente. También se deduce que los tratamientos de pasturas y suelo desnudo se comportan en diferente forma; esto es acorde a los altos valores de infiltración y humedad determinados en el sistema con cobertura vegetal, ya que este medio le brinda al suelo una mayor macroporosidad que es la encargada de facilitar el movimiento del agua.

De igual forma la Tabla 2 indica que hay diferencias estadísticas respecto a este parámetro ya que la preparación del terreno para cultivo hace que se destruya la estructura del suelo y lo expone a los factores ambientales como la lluvia; que forman una capa impermeable en la superficie del suelo por impacto de las gotas de lluvia o por saturación del mismo. Generando altos niveles de escorrentía.

### **9.1.3 Permeabilidad**

Los valores de permeabilidad presentan una diferencia estadística significativa que oscilan entre  $2,63 \times 10^{-4}$  y  $4,93 \times 10^{-4}$  cm/s generando una permeabilidad baja para un tipo de suelos de arena fina. Manifestando que el tratamiento de pastura presenta un nivel ligeramente mayor de permeabilidad, lo cual permite la infiltración del agua que impide la formación de flujos superficiales. Caso contrario del suelo desnudo que se puede saturar fácilmente con lluvias debido a la eliminación de la cobertura vegetal, la destrucción de la macro porosidad que puede formar una capa impermeable en la parte superficial del suelo.

### **9.1.4 Textura**

Los resultados obtenidos de textura a partir de la metodología de Boyoucos para cada tratamiento (Tabla 2) muestran una alta variación entre tratamientos para los tamaños de partículas arena, limo y arcilla, motivo por el cual los tratamientos

cambian de familia textural **limosa** con predominio de las clases texturales **franco limosa**. Si detallamos las diferencias entre tratamientos para cada tamaño de partícula, podemos observar que en el caso de las arenas, los tratamientos pastura presentaron los porcentajes menores siendo muy bajos para ambos tratamientos. Caso contrario se presenta con los **limos** donde los porcentajes mas altos están en el tratamiento de cultivo, siendo muy altos estos valores para los dos sistemas.

Las arcillas se encuentran en niveles muy bajos para ambos tratamientos pero con mayor dominancia en le tratamiento de cultivo. En suelos con alto contenido de materia orgánica como son los Andisoles de esta zona, se pude presentar una variación en la determinación de sus características. Para la textura puede asociarse con una nueva superficie formada por materiales **franco limosos**, transportados por el agua de escorrentía ricas en lodo, las cuales pueden modificar la textura de la capa superficial. Que en épocas de lluvia pueden generar incrementos en los flujos de escorrentía y en épocas de verano puede inducir la remoción de partículas finas por acción del viento causando erosión hídrica y eólica en los suelos que no cuentan con cobertura vegetal.

La erosionabilidad de un suelo depende de la combinación de muchos factores y es evidente que una de los mas importantes es la textura, por su estrecha relación con la cohesión del material así como con la permeabilidad del mismo de esta manera en estudios realizados por la USDA comprueban que los suelos mas erosionables corresponden a las texturas intermedias (fracción de limo mas abundante) del tipo **fr (franco)**, **frLi (franco limoso)**, **li (limoso)**. Por lo tanto podemos decir que los suelos con predominios de arenas muy finas y limos presentan una baja estabilidad al impacto de las gotas de lluvia por la baja cohesión de las partículas dentro de las unidades estructurales. Reflejando en la formación de sellos superficiales que generan un descenso en la permeabilidad del suelo.

### **9.1.5 Humedad**

En los dos tratamientos se presentaron diferencias estadísticas con porcentajes altos de humedad que son acordes a las características que presentan los ándisoles, pues sus agregados se expanden con facilidad permitiendo la acumulación de gran cantidad de agua. La diferencia que presentan los tratamientos se encuentra posiblemente en la exposición que presenta el suelo desnudo ante el sol facilitando la erosión eólica o hídrica, permitiendo la evaporación y por ende menores valores de humedad, caso contrario del suelo con cobertura en pastos, pues este tipo de vegetación permite la infiltración del agua que a veces alcanza hasta 2-3 veces la masa seca del suelo y permite acumulación de la misma.



### **9.1.6 Materia orgánica**

Los resultados obtenidos en la Tabla 2 muestran que el contenido de materia orgánica a la profundidad de 0 – 5 cm. es de 27.58% el cual es considerablemente alto. La diferencia que presenta la materia orgánica ante los tratamientos de cultivo y pastura, indica que el laboreo y las prácticas agrícolas empleadas al igual que la erosión disminuyen el contenido de esta en función del tiempo e intensidad de uso del suelo pero no alcanzan a tener diferencias estadísticas entre tratamientos.

### **9.1.7 pH**

El pH determinado en los dos tratamientos se encuentra dentro de la categoría de suelos ácidos como la mayoría de la zona andina colombiana, esta característica esta relacionada con el material parental que esta originado de cenizas volcánicas.

El tratamiento que presento los valores mas bajos de pH fue pastura y un leve incremento en suelo desnudo debido principalmente a el encalamiento para la preparación de suelos.

### **9.1.8 Aluminio intercambiable**

Los resultados indican que hay una alta diferencia entre los tratamientos respecto al aluminio intercambiable, donde los valores bajos están asociados a suelos o arcillas que se han encalado y alcanzan poca acidez intercambiable. Por esta razón se analiza los tratamientos asumiendo que la poca presencia del aluminio intercambiable en el sistema de cultivo esta asociado a las prácticas agrícolas.

El corte, tumba y quema del bosque, hacen que ocurran cambios significativos en las propiedades químicas y físicas del suelo. La magnitud y duración de estos cambios dependen de factores tales como: tipo de vegetación que se ha talado, clima y las propiedades del terreno. En suelos ácidos estos cambios son beneficiosos porque aumentan el contenido de elementos disponibles, tales como calcio (Ca), magnesio (Mg), fósforo (P) y potasio (K), neutralizándose parte del aluminio intercambiable.

## **9.2 Estudio del comportamiento de la escorrentía, suelo erodado e infiltración en suelo desnudo y pastura**

La Tabla 3 muestra la influencia que tienen las variables dependientes de escorrentía, suelo erodado e infiltración sobre uso del suelo. Comparando las medias podemos deducir que tanto la escorrentía como el suelo desplazado se comportan en forma diferente, pero con mayores cantidades tanto de escorrentía como de suelo erodado (2.57g para suelo desnudo y 0.22g para Pastura) en el uso de cultivo. Contrario a la variable infiltración ya que ella decrece para el uso en cultivo pero aumenta en pastura; de la misma forma se puede comparar según los intervalos de confianza, que la escorrentía presenta menor volumen en pastura

que el sistema de cultivo y se observa que la infiltración, en pastura ha sido mayor que en cultivo.

La prueba de U de Mann-Whitney y W de Wilcoxon en la tabla 4 es un método no paramétrico aplicado a dos muestras independientes, cuyos datos han sido medidos al menos en una escala de nivel ordinal. La prueba calcula el llamado estadístico *U*, cuya distribución para muestras con más de 20 observaciones se aproxima bastante bien a la distribución normal.

Esta prueba permite hacer un análisis del efecto de la **escorrentía, suelo erodado e infiltración** para el uso del suelo. Asumiendo como efecto, cuando las variables toman valores por debajo de 0.05 de significancia; por lo tanto podemos indicar que los tratamientos tienen diferencias significativas respecto a las medias de suelo desplazado e infiltración y en un nivel más bajo por la escorrentía.

Tabla 3 Medias marginales estimadas para suelo desnudo y pastura

Variable dependiente	Uso del Suelo	Media	Error típ.	Intervalo de confianza al 95%.	
				Límite inferior	Límite superior
<b>Escorrentía (mL)</b>	Cultivo	902.426 <sup>a</sup>	71.221	761.034	1043.818
	Pastura	603.611 <sup>a</sup>	71.221	462.219	745.003
<b>Suelo Erodado (g)</b>	Cultivo	2.566 <sup>a</sup>	.212	2.145	2.986
	Pastura	.225 <sup>a</sup>	.212	-.196	.646
<b>Infiltración (mL)</b>	Cultivo	5080.537 <sup>a</sup>	101.477	4879.080	5281.994
	Pastura	5626.296 <sup>a</sup>	101.477	5424.840	5827.753

a. Las covariables que aparecen en el modelo se evalúan en los siguientes valores:  
Pendientes (%) = 2.00.

Tabla 4 Estadísticos de contraste Prueba de Mann-Whitney<sup>(a)</sup>

	<b>Escorrentía (mL)</b>	<b>Suelo Erodado (g)</b>	<b>Infiltración (mL)</b>
U de Mann-Whitney	1179.000	149.000	997.000
W de Wilcoxon	2664.000	1634.000	2482.000
Z	-1.714	-8.043	-2.833
Sig. asintót. (bilateral)	.086	.000	.005

Variable de agrupación: **Uso del Suelo**

Figura 15. Suelo preparado para cultivo de papa



### 9.2.1 Agro-ecosistema con suelo desnudo

Se puede asumir que el suelo desnudo (figura 15) en comparación a los agro-ecosistemas de pastizales generan medias tanto de escorrentía (902.4 mL) como de suelo erodado (2.56 g) que son muy altas (tabla 2), y niveles bajos de infiltración, ya que al exponer el suelo a la lluvia se forma un sellamiento de los poros por impacto directo de las gotas de lluvia o saturación de los mismos; creando un incremento en los flujos superficiales que desplazan los agregados del suelo e incrementa fuertemente el desplazamiento del suelo.

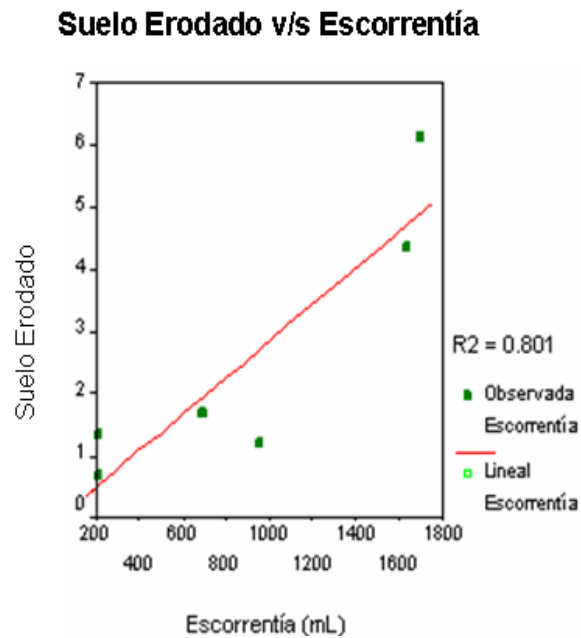
De acuerdo a los datos de densidad aparente y porosidad se pensaría que estos suelos tienen un buen sistema de drenaje, pero el suelo al encontrarse desnudo queda expuesto al efecto erosivo de las precipitaciones generando un sellamiento del suelo superficial y un incremento en los niveles de escorrentía.

En general los datos para los tratamientos de suelo desnudo que se presentan en la figura 16 permiten generar modelos estadísticos de regresión lineal simple ante las variables ya que presentan mejor ajuste en la dispersión de puntos; obteniendo un  $R^2$  alto que indica un buen ajuste de las variables escorrentía, suelo erodado e infiltración para el minisimulador.

En la figura 16 se observa el nivel de relación que tienen las variable escorrentía, suelo erodado e infiltración entre si. En el cual **suelo erodado-escorrentía**

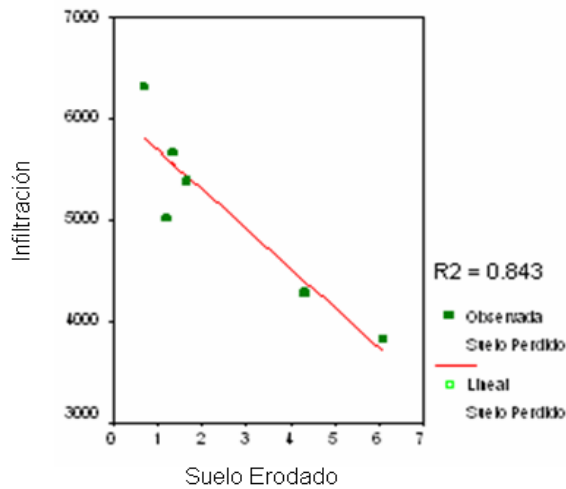
muestra un nivel de ajuste del 80.1% al observar las pendientes de los modelos estimados. La variable de Suelo erodado tienden a aumentar en 0.0029 g por cada mililitro de escorrentía; para **Infiltración-escorrentía** muestra como los volúmenes de Infiltración van disminuyendo en 1.3359 mL por cada mililitro de escorrentía con un nivel de ajuste del 93.4%. Así mismo la relación existente entre **infiltración-suelo** erodado es alta 84.3% demostrando como la infiltración disminuye en 386.26 mL por cada gramo de suelo desplazado.

Figura 16. Tratamientos para suelo desnudo en el que se indica los modelos de relación para: a) suelo erodado - escorrentía; b) Infiltración - suelo erodado, c) infiltración escorrentía a una intensidad de lluvia de 100mm/h<sup>-1</sup> donde R<sup>2</sup> indica el nivel de relación que existe entre ellos.



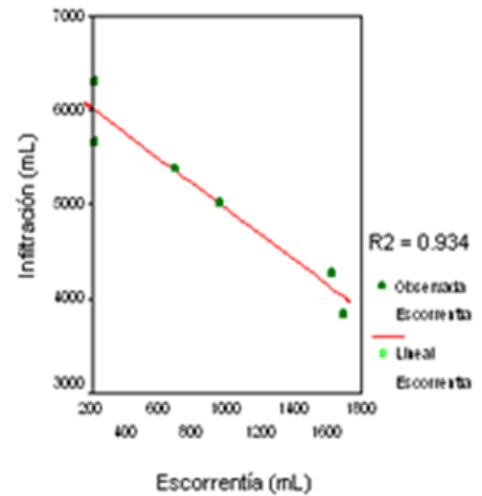
$$\text{Suelo erodado (g)} = -0.0874 + 0.0029 (\text{Escorrentía (mL)})$$

**Infiltración v/s Suelo Erodado**



$Infiltración = 6071.48 - 386.26 (\text{Suelo erodado (g)})$

**Infiltración v/s Escorrentía**



$Infiltración = 6286.13 - 1.3359(\text{Escorrentía(mL)})$

Figura 17. Simulador en agro-ecosistema pastura



### 9.2.2 Agro-ecosistema de Pastura

Se pudo evidenciar a lo largo esta investigación como la cobertura vegetal sea viva o muerta en el agro-ecosistema pastura (figura 17) con dominancia de las familias mostradas en la Tabla 5 es el elemento natural de protección del suelo frente a la fuerza erosiva de las precipitaciones y la escorrentía. Ya que la vegetación disminuye el golpe directo de las gotas de lluvia en su follaje y el sistema radicular facilita la infiltración de agua sirviendo como un medio de amarre

para el suelo y al mismo tiempo la descomposición tanto de tallos, hojas y raíces genera una película protectora del suelo ante los agentes erosivos y ayuda en la formación del mismo. Todos estos factores le brindan al suelo una protección.

Tabla 5. Vegetación dominante

Vegetación dominante	
Familia	Nombre Científico
Asteraceae	<i>Hypochoeris radiculata</i> . L. F
Clusiaceae	<i>Hypericum</i> sp.
Fabaceae	<i>Trifolium repens</i> . L
Poaceae	<i>Hulcus lanatus</i> . L
Poligomnaceae	<i>Rumer crispas</i> . L.
Rosaceae	<i>Lachemilla</i> sp.

Posteriormente a los datos de **suelo desnudo** y **pastura** se los sometió a un Análisis de Varianza Multifactorial (ANOVA) de una vía con el propósito de observar o aplicar una prueba de hipótesis ante las variables dependientes escorrentía, suelo erodado e infiltración y afirmar que hay diferencia entre ellos  $H_1$  (hipótesis alternativa), o que los tratamiento se comportan de igual forma  $H_0$  (hipótesis nula), como lo muestran las tabla 6.

Tabla 6 ANOVA para las variables Escorrentía, Suelo erodado e Infiltración según meses (enero, febrero, marzo, abril, mayo, junio).

		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
<b>Escorrentía (mL)</b>	Inter-grupos	23693701	11	2153972,8	7.944	.000
	Intra-grupos	26029151	96	271136.988		
	Total	49722852	107			
<b>Suelo Erodado (g)</b>	Inter-grupos	360.924	11	32.811	13.669	.000
	Intra-grupos	230.445	96	2.400		
	Total	591.369	107			
<b>Infiltración (mL)</b>	Inter-grupos	50792919	11	4617538,1	8.369	.000
	Intra-grupos	52969661	96	551767.301		
	Total	103762580	107			

En la tabla 6 del análisis de varianza de una vía (ANOVA) la significancia es altísima, igual a 0.00. Por lo tanto se rechaza la hipótesis nula de la igualdad de medias entre meses para las variables Escorrentía, Suelo erodado e Infiltración en los dos usos de suelo durante el periodo de estudio y se puede afirmando que hay diferencias estadísticas entre los tratamientos con respecto a la escorrentía, suelo desplazado e infiltración. Este efecto esta evidenciado por la función protectora que brinda la cobertura vegetal al suelo.

### 9.3 Comportamiento de la escorrentía, suelo erodado e infiltración respecto al uso del suelo y los meses

#### 9.3.1 Descripción de la variable Escorrentía

Mediante la prueba de Duncan que es un procedimiento estadístico de comparación de medias, en el que se crean grupos para los tratamientos en estudio que presentaron diferencias significativas, se analizaron las variables Escorrentía, Suelo erodado e Infiltración en los seis meses de estudio.

Para Escorrentía se obtuvieron cuatro subconjuntos 1, 2, 3 y 4 que indican las medias mas relacionadas entre si, presentando los valores mas bajos de escorrentía en el subconjunto 1, pero están muy relacionados con el subconjunto 2 y a su vez con el subconjunto 3; caso contrario del subconjunto 4 que presenta de los niveles mas altos de escorrentía para los sistemas con suelo desnudo en los mese de Junio y Mayo. Tabla 7.

Tabla 7. Prueba de Duncan para Escorrentía.

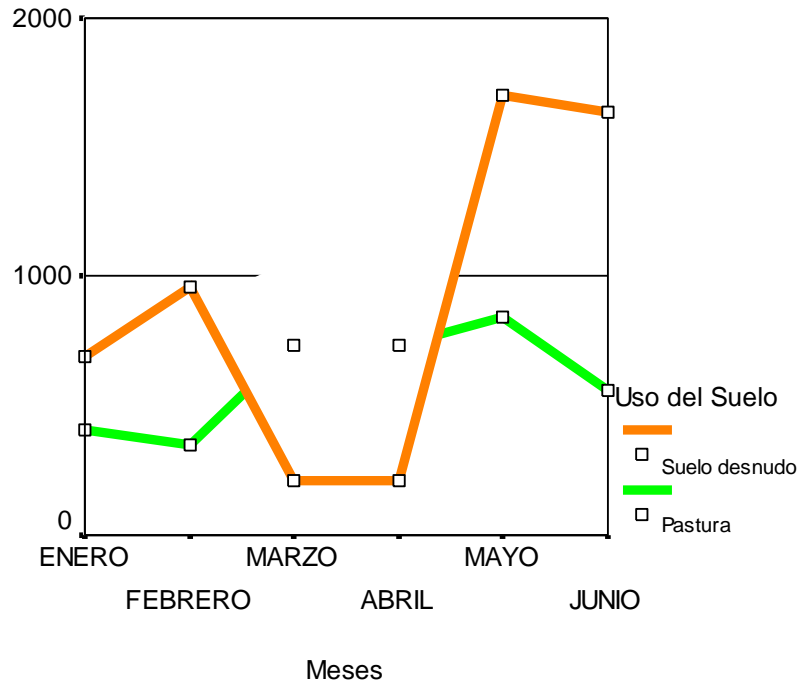
Duncan<sup>a</sup>

INTERACC	N	Subconjunto para alfa = .05			
		1	2	3	4
Des.Marzo	9	213.89			
Des.Abril	9	213.89			
Past.Febrero	9	349.44	349.44		
Past.Enero	9	407.78	407.78	407.78	
Past.Junio	9	558.89	558.89	558.89	
Des.Enero	9	692.78	692.78	692.78	
Past.Marzo	9	731.11	731.11	731.11	
Past.Abril	9	731.11	731.11	731.11	
Past.Mayo	9		843.33	843.33	
Des.Febrero	9			957.89	
Des.Junio	9				1634.44
Des.Mayo	9				1701.67
Sig.		.074	.085	.054	.785

Se muestran las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Usa el tamaño muestral de la media armónica = 9.000.

Figura 18. Medias de escorrentía para meses y uso de suelo



### 9.3.2 Descripción de la variable Suelo erodado

El promedio del valor de las medias de la tabla 3 en todos los sitios de muestreo para los seis meses da una idea del comportamiento que tiene el suelo erodado con 2.57g para suelo desnudo y 0.22g en **pastura**, y la prueba de Duncan agrupa los datos generales (figura 19) en medias para cada mes de muestreo generando tres subconjuntos bien definidos (Tabla 8), donde el conjunto 1 tiene los menores rangos de suelo desplazado especialmente para el sistema de, **pastura** en todos los meses de muestreo y esta muy relacionado con el sistema de **suelo desnudo** en los primeros meses. El conjunto 2 con 4.34 g para suelo desnudo en junio y el subconjunto 3 con 6.12 g para **suelo desnudo** en mayo indican que las mayores cantidades de suelo que se desplazan están en suelo desnudo para los meses de junio y mayo.

En general el suelo erodado esta relacionado con la escorrentía es decir el uso del suelo que presento alta escorrentía presenta también altos niveles de arrastre de suelo. Estos altos niveles de suelo desplazado tanto en junio como en mayo son ocasionadas fundamentalmente por la baja capacidad de infiltración del suelo y la falta de cobertura vegetal que genera láminas de escorrentía que arrastran el suelo desprendido por las gotas de lluvia. Estos resultados concuerdan con los resultados de Morgan (1986) el cual menciona una fuerte relación entre la escorrentía y el suelo erodado.



Figura 19 Suelo erodado para una intensidad de 100mm/h<sup>-1</sup> en seis meses

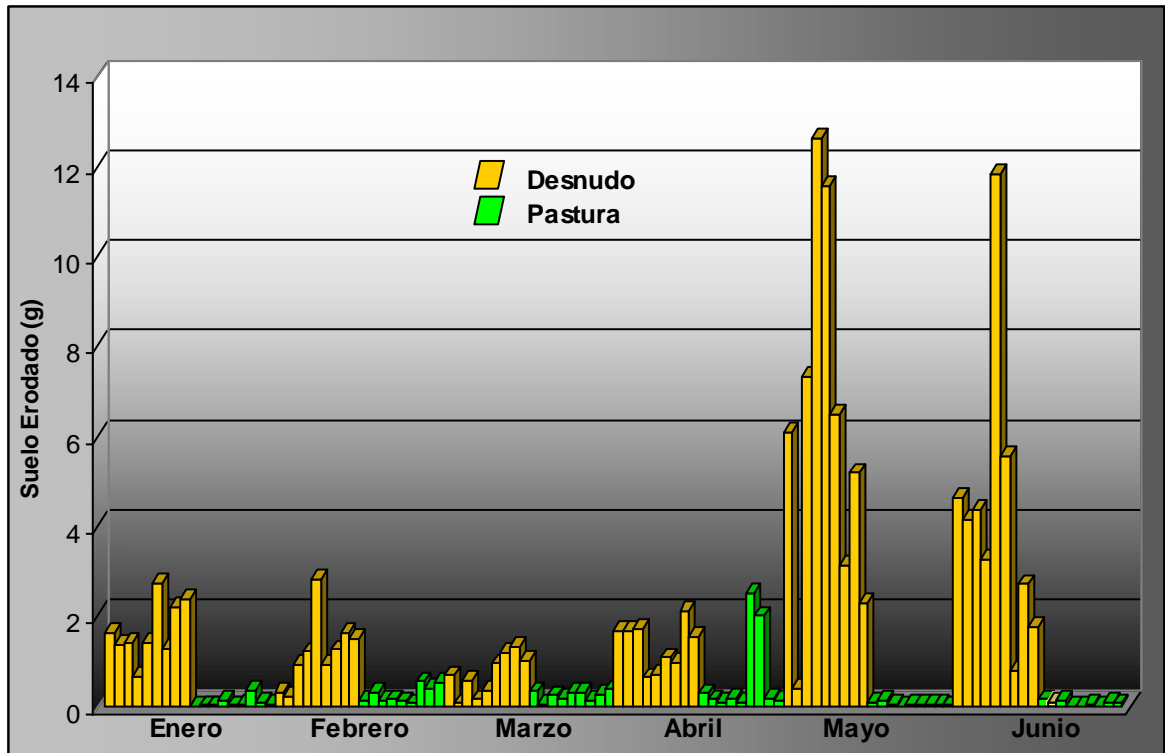


Tabla 8. Prueba de Duncan para Suelo erodado

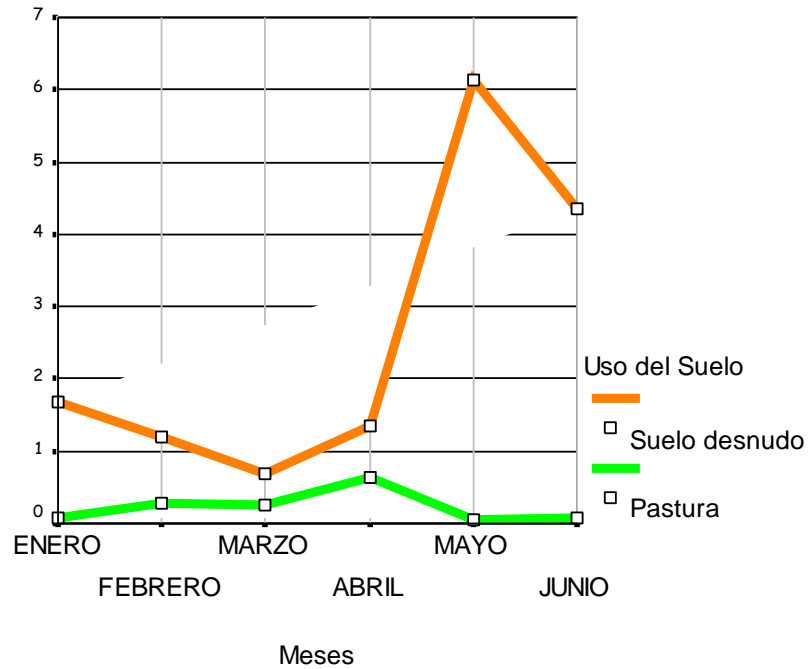
Duncan<sup>a</sup>

INTERACC	N	Subconjunto para alfa = .05		
		1	2	3
Past.Mayo	9	.05110		
Past.Junio	9	.07256		
Past.Enero	9	.07648		
Past.Marzo	9	.24772		
Past.Febrero	9	.26852		
Past.Abril	9	.63299		
Des.Marzo	9	.69939		
Des.Febrero	9	1.20450		
Des.Abril	9	1.34838		
Des.Enero	9	1.67477		
Des.Junio	9		4.34378	
Des.Mayo	9			6.12231
Sig.		.064	1.000	1.000

Se muestran las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

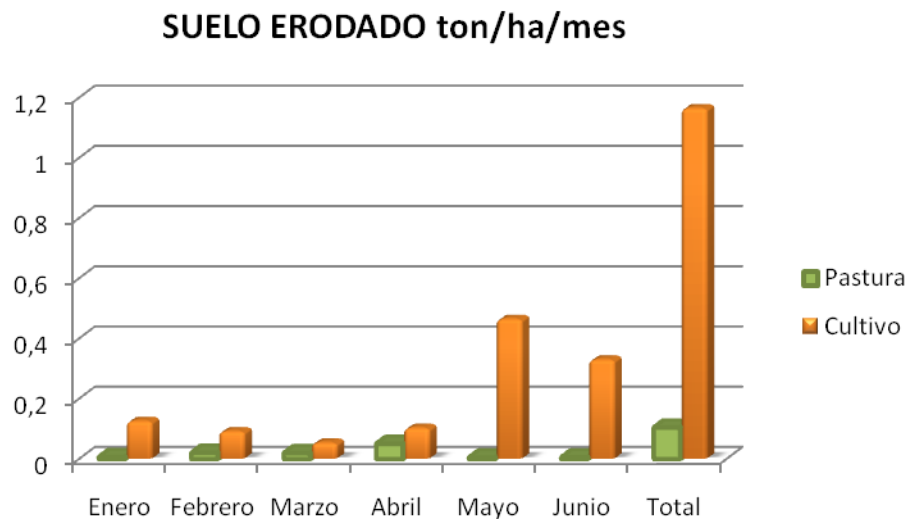
a. Usa el tamaño muestral de la media armónica = 9.000.

Figura 20. Medias de suelo erodado para meses y uso



Basado en las unidades de medida utilizadas internacionalmente para este factor como son toneladas/hectárea/mes se logro extrapolar la cantidad de suelo erodado ocasionada por una intensidad de lluvia de  $100\text{mmh}^{-1}$  encontrando los siguientes resultados.

Figura 21



La magnitud de este efecto se puede deducir de acuerdo a las investigaciones de Bennett 1939 en (Hudson, 1982) donde indica que bajo condiciones no alteradas

son necesarias del orden de 300 años para producir 25 mm de suelo. Estas cifras también pueden ser comparadas con los valores promedios de los procesos de formación del suelo reportados por la FAO 1996 que se acercan a una tonelada  $\text{ha}^{-1}\text{año}^{-1}$ .

Estos datos son de especial interés en suelos ándicos donde los procesos de formación del suelo son muy lentos por las características ambientales que presentan estos ecosistemas. Por lo tanto se podría afirmar que la tasa de suelo erodado presente en el agro-ecosistema de suelo desnudo sobrepasa la tasa de formación aunque esta no pueda medirse con precisión.

### **9.3.3 Descripción de la variable Infiltración**

La prueba de Duncan (tabla 9) agrupo los valores en cuatro subconjuntos; el subconjunto1 que concentra los volúmenes más bajos de infiltración para el sistema de suelo desnudo en los meses de mayo y junio. Caso contrario de los subconjuntos 2, 3 y 4 que están muy relacionados entre sí, pero tienen los volúmenes mas altos para el sistema de suelo desnudo en el mes de marzo.

La baja infiltración presentada en mayo y junio para el sistema de cultivo, se puede presentar por que se ha sobrepasado la capacidad de absorción del suelo, creando un sistema húmedo y saturado que obstaculiza la infiltración, dando como resultado un incremento en los niveles escorrentía como se pude ver en la tabla7 y asi mismo hace sensible este tratamiento al proceso erosivo por que la baja infiltración en zonas de ladera propicia flujos de escorrentía que arrastran partículas de suelo.

Los altos niveles de Infiltración presentes en los subgrupos 2, 3, 4 están muy relacionados con la disponibilidad del suelo para absorber agua ya sea por la cobertura vegetal (sistema de pastura) que facilita la infiltración, o la preparación que se hace de los suelos antes de la siembra (suelo desnudo) y a los bajos volúmenes de precipitación presentados antes de la simulación.

La diferencia en el comportamiento de la infiltración en los tratamientos de suelo desnudo y pastura es creada principalmente por las prácticas agrícolas que del suelo se hacen, las cuales disminuye en el largo plazo los macroporos y por ende la infiltración generando susceptibilidad de los suelos ándicos al proceso de erosión.

Tabla 9. Prueba de Duncan para Infiltración

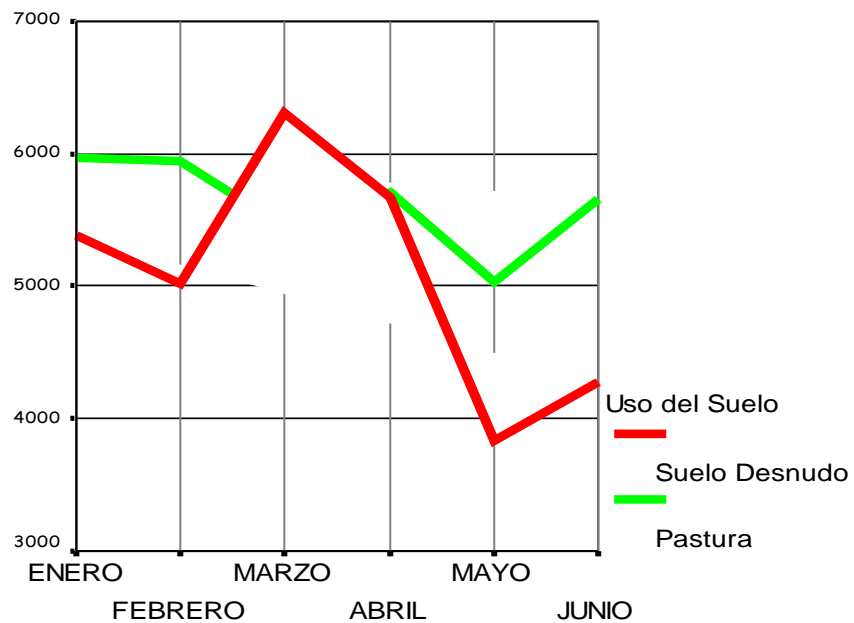
Duncan<sup>a</sup>

INTERACC	N	Subconjunto para alfa = .05			
		1	2	3	4
Des.Mayo	9	3830.56			
Des.Junio	9	4282.78			
Des.Febrero	9		5015.44		
Past.Mayo	9		5033.33		
Des.Enero	9		5378.33	5378.33	
Past.Marzo	9		5448.33	5448.33	
Past.Junio	9		5661.11	5661.11	5661.11
Des.Abril	9		5667.78	5667.78	5667.78
Past.Abril	9		5707.22	5707.22	5707.22
Past.Febrero	9			5941.67	5941.67
Past.Enero	9			5966.11	5966.11
Des.Marzo	9				6308.33
Sig.		.200	.091	.153	.110

Se muestran las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Usa el tamaño muestral de la media armónica = 9.000.

Figura 22. Medias de infiltración para meses y uso



Es claro que los meses con mayores diferencias son mayo y junio pues presentan los valores más altos de **escorrentía** y **suelo erodado**, pero de igual forma los niveles más bajos de infiltración. Lo cual esta muy relacionado con la temporalidad climática para el sector, ya que en estos meses se presentaron los mayores volúmenes de precipitación lo que hace pensar que los suelos están en sus máximos niveles de infiltración generando altos valores de escorrentía y suelo erodado.

#### 9.4 Análisis de Correlación

Tabla 10. Matriz de correlación no paramétrica de Rho de Spearman

			Escorrentia (mL)	Suelo Erodado (g)	Infiltración (mL)
Rho de Spearman	<b>Escorrentia (mL)</b>	Coefficiente de correlación	1.000	.417**	-.864**
		Sig. (bilateral)	.	.000	.000
		N	108	108	108
	<b>Suelo Erodado (g)</b>	Coefficiente de correlación	.417**	1.000	-.488**
		Sig. (bilateral)	.000	.	.000
		N	108	108	108
	<b>Infiltración (mL)</b>	Coefficiente de correlación	-.864**	-.488**	1.000
		Sig. (bilateral)	.000	.000	.
		N	108	108	108

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

La tabla 10 permite hacer un análisis de la correlación lineal entre las variables. En el caso de **escorrentía-suelo erodado** hay una correlación positiva ( $r = 0.417$ ) muy significativa indicando que al incrementar el volumen de escorrentía la cantidad de suelo erodado tiende a aumentar, esta correlación entre las dos variables se podría explicar debida a que el suelo erodado por causa de la lluvia depende directamente de la escorrentía la cual actúa como medio de transporte de las partículas de suelo desprendidas por la lluvia o como factor erosivo desprendiendo el suelo cuando alcanza altas velocidades. Contrario a la correlación **escorrentía-infiltración** donde su correlación es negativa muy alta ( $r = -0.864$ ) y significativa mostrando que al aumentar la escorrentía el volumen de infiltración disminuye. La correlación **suelo erodado-Infiltración** es de tipo negativa ( $r = -0.488$ ) muy significativa indicando que al aumentar la cantidad de suelo disminuye el nivel de infiltración.

## 9.5 Efecto de la pendiente sobre escorrentía, suelo erodado e infiltración

Para analizar el comportamiento de las variables; escorrentía suelo erodado e infiltración, con respecto a la pendiente del terreno y al uso del suelo durante los meses de estudio se realizó una prueba de los efectos Inter.-Sujetos Tabla 11, ya que los datos requerían que cada grupo fuera una muestra aleatoria independiente que procede de una población normal, para poder determinar si existe una diferencia entre los tratamientos ante las variables dependientes. Esta tabla muestra que las pendientes del terreno no influyen en la escorrentía, el suelo erodado e infiltración por su alto valor de significancia ( $p > 0.05$ ); por lo cual se puede asumir que no hay efecto significativo o su comportamiento es similar. Este fenómeno puede explicarse por las dimensiones en las bandejas de escorrentía cuya longitud es de 40 cm. y los flujos superficiales no alcanzan a tener altas velocidades. Ya que las pendientes ejercen su mayor efecto con respecto a la erosión de los suelos de acuerdo a su longitud donde la escorrentía junto a sus partículas adquieren mayor energía cinética a medida que avanzan a lo largo del terreno.

Tabla 11. Prueba de los efectos Inter-Sujetos

Fuente	Variable dependiente	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Significación
Modelo corregido	Escorrentia (mL)	23701122,8 <sup>a</sup>	12	1975093,6	7.211	.000
	Suelo Erodado (g)	360.980 <sup>b</sup>	12	30.082	12.404	.000
	Infiltración (mL)	50936388,8 <sup>c</sup>	12	4244699,1	7.633	.000
Intercept	Escorrentia (mL)	9226750.478	1	9226750,5	33.685	.000
	Suelo Erodado (g)	32.495	1	32.495	13.399	.000
	Infiltración (mL)	457039381	1	4,57E+08	821.917	.000
<b>PENDIENT</b>	Escorrentia (mL)	7421.681	1	7421.681	.027	<b>.870</b>
	Suelo Erodado (g)	.057	1	.057	.023	<b>.879</b>
	Infiltración (mL)	143469.389	1	143469.389	.258	<b>.613</b>
<b>USO</b>	Escorrentia (mL)	2410837.926	1	2410837,9	8.801	<b>.004</b>
	Suelo Erodado (g)	147.920	1	147.920	60.994	<b>.000</b>
	Infiltración (mL)	8042035.565	1	8042035,6	14.462	<b>.000</b>
<b>MESES</b>	Escorrentia (mL)	10733596,9	5	2146719,4	7.837	<b>.000</b>
	Suelo Erodado (g)	94.302	5	18.860	7.777	<b>.000</b>
	Infiltración (mL)	26983404,3	5	5396680,9	9.705	<b>.000</b>
<b>USO * MESES</b>	Escorrentia (mL)	10549266,3	5	2109853,3	7.703	<b>.000</b>
	Suelo Erodado (g)	118.702	5	23.740	9.789	<b>.000</b>
	Infiltración (mL)	15767479,5	5	3153495,9	5.671	<b>.000</b>
Error	Escorrentia (mL)	26021729,2	95	273912.939		
	Suelo Erodado (g)	230.389	95	2.425		
	Infiltración (mL)	52826191,5	95	556065.174		
Total	Escorrentia (mL)	110962836	108			
	Suelo Erodado (g)	801.602	108			
	Infiltración (mL)	3198942141	108			
Total corregida	Escorrentia (mL)	49722852,0	107			
	Suelo Erodado (g)	591.369	107			
	Infiltración (mL)	103762580	107			

a. R cuadrado = .477 (R cuadrado corregida = .411)

b. R cuadrado = .610 (R cuadrado corregida = .561)

c. R cuadrado = .491 (R cuadrado corregida = .427)

## 10. Evaluación preliminar de las actividades más impactantes

Este análisis se efectúa ya que relaciona las actividades humanas más comunes en el área de estudio y las alteraciones que generan en los diferentes componentes de un ecosistema altoandino.

### 10.1 Matriz de FEARO para ganadería extensiva

El método de matriz de FEARO permite hacer un análisis cualitativo de cómo la ganadería extensiva (figura 23) y el cultivo de papa (figura 26) están afectando los componentes de un ecosistema. Teniendo en cuenta las principales actividades que para su implantación se desarrollan.

Figura 23. Ganadería extensiva



### Agua

El agua es afectada por esta actividad debido al cambio de cobertura vegetal boscosa a pastizales, utilizando tala, quema y de igual forma el pastoreo del ganado que genera compactación del suelo; reduce la capacidad de infiltración y aumenta los niveles de escorrentía superficial. Creando cambios severos en la regulación hídrica y alteración de sus propiedades físicas, químicas y biológicas por sedimentación. Al igual que altera las zonas riparianas y las dinámicas tróficas (pérdida de nichos) y de las comunidades acuáticas. Especialmente en la región andina, por su geomorfología, suelos y los rangos de precipitación que tienden a ser elevados. Como lo indica el IDEAM (1998) se ha afectado la cantidad y calidad de los recursos hídricos porque la deforestación y las actividades agrícolas y

domésticas reducen la regulación de los caudales, aceleran la erosión y generan contaminación de las aguas.

La falta de cobertura vegetal nativa y el libre acceso de los animales a los cursos de agua corriente, generan mayores sedimentos (sólidos disueltos en el agua) y con el aporte de excretas incrementan en gran medida los coliformes fecales, afectando la calidad del recurso hídrico. Ya que los mayores valores de DBO, nitrógeno y coliformes en las zonas ganaderas se presenta presumiblemente debido al depósito de estiércol por el ganado directamente en los potreros, el cual mediante la escorrentía aporta estos elementos a las quebradas o cuerpos de agua como lo muestra la figura (figura 24) donde se observa la presencia de algas flotantes. Los sólidos totales y la turbiedad también pueden ser un efecto directo de la perturbación que hace el ganado que incrementa la erosión en las zonas de pastoreo y/o que destruye los taludes y remueve el fondo de las quebradas.

Figura 24. Canales de agua

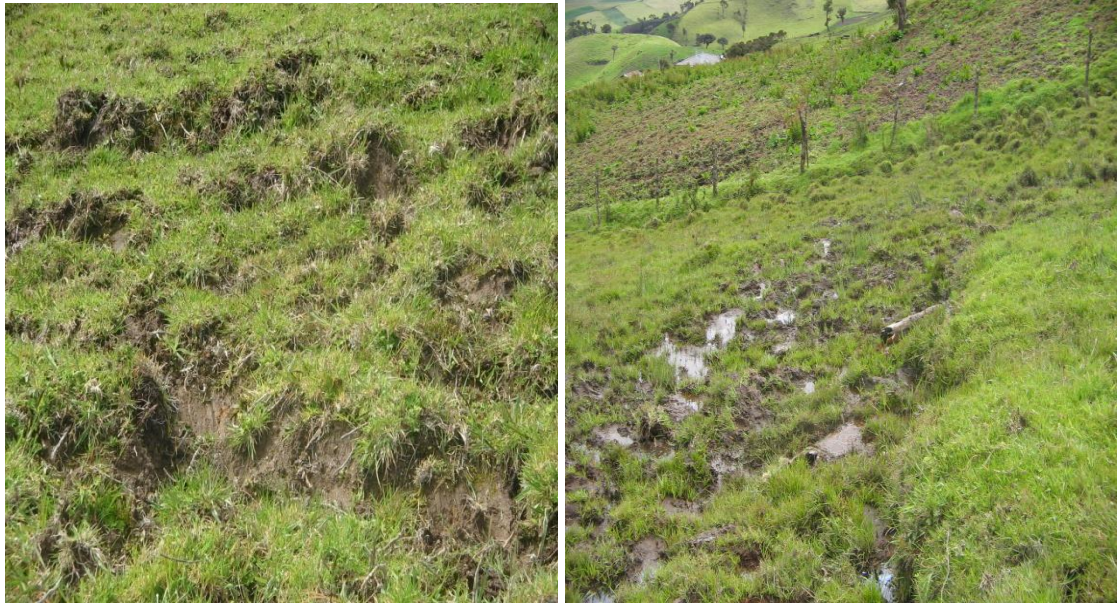


### **Suelo**

Esta actividad por el cambio de cobertura generado por: tala, quema, adecuación de terrenos y el pastoreo del ganado que aplasta la vegetación dejándola a ras del suelo con sus pesuñas relativamente cortantes, produce la pérdida casi total del horizonte A<sub>00</sub> y a su vez genera como consecuencia del pisoteo compactación del horizonte A<sub>1</sub>, siendo un ejemplo de tal proceso la pata de vaca (figura 25) lo cual acelera la pérdida de macroporos; ocasionando una posible alteración de la permeabilidad en el horizonte al igual que la estabilidad estructural, procesos que causan remociones masales. Como consecuencia se da lugar a un incremento en la escorrentía superficial y con ella a suelo erodado y nutrientes alterando la relación suelo-planta en cuanto a la disponibilidad de agua en el suelo, afectando los procesos vegetativos y alterando la capacidad productiva. Estos procesos en conjunto incrementan la susceptibilidad de los ándisoles a la erosión.



Figura 25. Compactación y efecto de la pata de vaca



### **Flora y fauna**

Los daños ocasionados por la actividad ganadera son los que generan mayor impacto sobre el ecosistema ya que casi la totalidad de los bosques de la zona han sido talados y reemplazados, primero por cultivos semestrales y luego por pastos para ganadería, llevando a la fragmentación o pérdida de ecosistemas que provocan una interrupción de los procesos sucesionales y a su vez genera el deterioro potencial de hábitats y nichos propio de estos sistemas, al mismo tiempo aumenta la aparición de especies oportunistas. En la fauna como la flora se presenta una alteración de su diversidad y solapamiento de nichos, generando efectos negativos en las relaciones intra e interespecíficas, favoreciendo la aparición de especies oportunistas que pueden alterar las cadenas tróficas.

### **Aire**

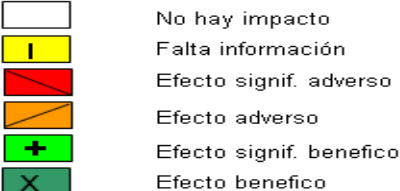
El componente aire se ve afectado principalmente por la quema y la gran cantidad de CO<sub>2</sub> que es arrojado a la atmósfera. La tala y la adecuación de terrenos al generar ruido con la utilización de motosierras, hachas y maquinaria pesada tienen un impacto directo con el componente fauna causando un desplazamiento de las especies presentes, de igual forma la pérdida de las comunidades vegetales, especialmente los estratos arbóreos y arbustivos genera un incremento en la velocidad del viento e inducen la emisión de gases, al poner en contacto con la atmósfera gran cantidad de carbono, en el que son extraordinariamente ricos los suelos ándicos.

## **Población**

Esta actividad tiene un gran efecto sobre la población, pues es fuente de ingresos con la comercialización de lácteos, y todos los procesos que se derivan a partir de esta actividad productiva, pues están encaminados a mejorar la producción y la economía de la región. Pero tiene un impacto directo sobre el paisaje y el ecosistema al expandir la frontera pecuaria, con el propósito de tener más campos para pastoreo apropiándose de los recursos naturales en áreas donde su vocación es totalmente forestal y de conservación, con la intención de tener mayores ingresos en detrimento de la calidad de estos ecosistemas.

Según las convenciones utilizadas en la matriz, se puede observar que los componentes más afectados dentro del ecosistema son: el suelo, flora, fauna y el paisaje pues son los directamente perturbados por la implantación de este tipo de actividades antropogénicas.

Figura 26. Matriz de FEARO para ganadería extensiva

MATRIZ DE FEARO			ACTIVIDAD GANADERIA EXTENSIVA								
			PROCESOS	Tala	Quema	Expansión de áreas ganaderas	Adecuación de áreas para pastoreo	Atrebaderos	Pastoreo	Accesibilidad	Incremento actividades económicas
Subsistemas	FACTORES	POSIBLES IMPACTOS									
ECOSISTEMA	INERTE	AIRE	Ruido								
			Incremento en la velocidad del viento								
			Generación de gases y partículas								
		AGUA	Cambios en escorrentía y nivel freático								
			Incremento en la sedimentación y turbiedad								
			Alteración de las características físicas, químicas y biológicas								
			Cambios en la composición de las zonas riparianas								
		SUELO	Alteración del horizonte A00								
			Compactación en el horizonte A1								
			Alteración de las propiedades físicas, químicas y biológicas								
	Incremento de la escorrentía superficial										
	Alteración de la relación suelo-agua-planta										
	Variación en la productividad										
	Susceptibilidad a la erosión										
	Fracmentación de bosques										
	BIOTICO	FLORA	Cambio de las coberturas vegetales								
			Alteración de procesos sucesionales								
			Perdida de habitats y nichos								
			Variación en los niveles de evatranspiración y humedad relativa								
		FAUNA	Modificación de la diversidad vegetal								
			Desplazamiento de especies								
			Cambio de las relaciones inter e intra específicas								
			Perdida de habitats y nichos								
	PERCEPTUAL	PAISAJE	Perdida de especies endémicas y aparición de oportunistas o invasoras								
			Alteración del Patrón visual (Parches según usos)								
	POBLACIÓN Y ACTIVIDADES	POBLACIÓN	Pérdida de la calidad escénica (Cambio en el uso del suelo)								
			Alteración del paisaje								
			Apropiación de los recursos								
ECONOMÍA		Generación de residuos									
		Ocupación de áreas sin planificación									
		Empleo	X		X		X		+	+	
ECONOMÍA	Mayor producción	X	X	X	X	X	X	+	+	+	
	Potenciamiento de la comercialización							+	X		

## 10.2 Matriz de FEARO para cultivos limpios de papa

Figura 27. Cultivo de papa



### Agua

En la zona de estudio la actividad más representativa es el cultivo de papa, que genera serios impactos sobre el ecosistema debido a la preparación de las tierras para cultivo, que deja expuesto el suelo a los efectos de la lluvia creando un gran movimiento de suelo y partículas como fosfatos, nitratos o cloruros por escorrentía hacia los cuerpos de agua causando eutrofización y alterando sus características físicas químicas y biológicas por los altos niveles de sedimentación como lo es la Ciénaga de Calvache; de igual forma las zonas riparianas de estos sistemas hídricos presentan colmatación ya que son los primeros depósitos de todo el material transportado.

Un especial interés debe tener el efecto de los agro-químicos como (Aldrin, Clorpirifos, Clardano, Diazinon) o nutrientes que son arrastrados hacia las fuentes de agua como es el caso del río Palacé, ya que en las aguas de abastecimiento público la contaminación constituye un grave problema, y no existe un tratamiento barato y eficaz que elimine fosfatos, nitratos o cloruros, de los que pueden derivarse no pocos peligros en la salud. Por ejemplo los nitratos pueden originar una enfermedad en los niños conocida como methemoglobinemia.

### Suelo

La tala, quema del bosque y la posterior utilización del suelo para cultivos como lo muestra la figura 28 afecta el componente suelo en gran medida hasta el brote, pues para la implantación de este tipo de cultivo se elimina la totalidad de la

cobertura vegetal para luego hacer uso de maquinaria pesada o implementos de labranza en el volteo y disgregación del suelo (figura 28). Generando la pérdida del horizonte Aoo; compactación casi irreversible en los estratos mas bajos; reducción del tamaño de los poros e interrupción de la conexión entre ellos, aumento de la temperatura del suelo, disminución de la humedad, pérdida de nutrientes y materia orgánica por insolación, viento y lluvia; alteración en los niveles de escorrentía, alterando las características físicas, químicas y biológicas de suelos ándicos dejándolos susceptibles a los procesos de erosión, como lo demuestra esta investigación con pérdidas de suelo que sobrepasan los niveles de formación del mismo ya que no cuenta con una cobertura vegetal que le sirva de protección. Repercutiendo en la relación suelo-agua-planta y en la productividad de los mismo.

Figura 28. Prácticas agrícolas



### **Flora y fauna**

El efecto mas grande se encuentra en la flora ya que es eliminada totalmente pues este tipo de cultivos no permite vegetación acompañante llevando a la pérdida potencial de hábitats y nichos que aumentan la competencia y el parasitismo por solapamiento, sumado al proceso de fragmentación de ecosistemas altoandinos que modifican la diversidad vegetal e interrumpen las cadenas tróficas y el proceso sucesional propio de estos sistemas e incluso afecta las especies endémicas. La alteración de la relación suelo-plánta modifica las condiciones de estos biomas causando cambios en los niveles de evapotranspiración y precipitación variando las condiciones ambientales propias de ecosistemas altoandinos.

**Aire**

Este componente se ve afectado principalmente por las quemas y la gran cantidad de nutrientes que se volatilizan en forma de carbono y nitrógeno alterando las relaciones de los ciclos biogeoquímicos y las características microclimáticas del sector, de igual forma la generación de ruido y gases por la maquinaria y otras actividades en la preparación de tierras produce un alejamiento de la fauna presente. Así mismo la eliminación de la cobertura vegetal incrementa la velocidad del viento e induce el transporte de suelo y partículas a la atmósfera.

**Población**

Según información reportada por la población la expansión de la frontera tanto agrícola como pecuaria ha ido en detrimento de la calidad de vida de las personas ya sea por el cambio de coberturas vegetales, la generación de residuos, la apropiación de recursos sin tener en cuenta la aptitud que tienen los suelos y la alta sedimentación; han deteriorado de las fuentes de agua, suelos y las condiciones ambientales propias de estos ecosistemas haciéndose necesario la utilización de gran variedad de agroquímicos para suplir las deficiencias del suelo y combatir la plagas.

En general todos los procesos realizados en esta actividad conducen a una mayor producción y un potenciamiento de la actividad comercial por la explotación que se hace de los recursos, logrando situar esta zona como una de las más productivas en el Departamento del Cauca en cuanto a papa y lácteos se refiere, generando una oportunidad laboral para los habitantes.

De igual forma las actividades agropecuarias implantadas están afectando directamente los componentes suelo, flora, fauna y paisaje. Generando un deterioro del ecosistema ya que para su implantación y cosecha se elimina toda la cobertura vegetal, que deja expuesto el suelo a factores ambientales como la lluvia, el viento y el sol que transforman las condiciones propias de este tipo de ecosistema.

Figura 29. Matriz de FEARO para el monocultivo de papa

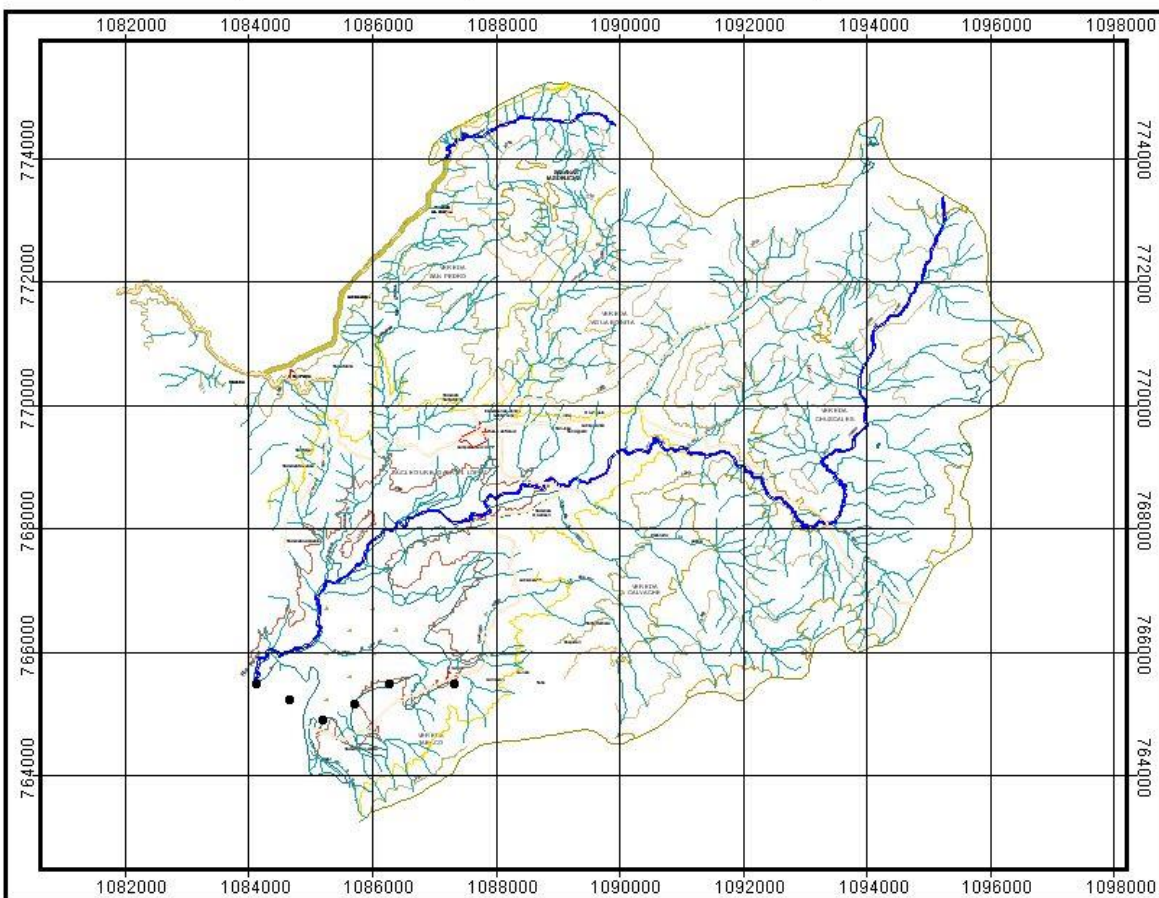
MATRIZ DE FEARO			ACTIVIDAD AGRICOLA MONOCULTIVO DE PAPA												
Subsistemas	Factores	POSIBLES IMPACTOS	PROCESOS												
			Tala	Quema	Expansión de áreas agrícolas	Preparación de terrenos para cultivo	Operación de maquinaria	Exposición de suelos	Utilización de agroquímicos	Accesibilidad	Incremento actividades económicas				
ECOSISTEMA	INERTE	AIRE	Ruido				I								
			Incremento en la velocidad del viento												
			Generación de gases y partículas												
		AGUA	Cambios en escorrentía y nivel freático												
			Incremento en la sedimentación y turbiedad												
			Alteración de las características físicas, químicas y biológicas						I						
			Cambios en la composición de las zonas riparianas												
			Alteración del horizonte Aoo												
			Compactación en el horizonte A1												
	SUELO	Alteración de las propiedades físicas, químicas y biológicas													
		Incremento de la escorrentía superficial													
		Alteración de la relación suelo-agua-planta													
		Variación en la productividad													
		Susceptibilidad a la erosión													
	BIOTICO	FLORA	Fracmentación de bosques												
			Eliminación de las coberturas vegetales Nat.												
			Alteración de procesos sucesionales												
			Perdida de habitats y nichos												
			Variación en los niveles de evatranspiración y humedad relativa												
			Modificación de la diversidad vegetal												
FAUNA		Desplazamiento de especies													
		Cambio de las relaciones inter e intra													
		Perdida de habitats y nichos													
		Alteración de la diversidad.													
PERCEPTUAL	Paisaje	Perdida de especies endémicas y aparición													
		Alteración del Patrón visual (Parches según usos)													
POBLACION Y ACTIVIDADES	POBLACION	Pérdida de la calidad escénica (Cambio en el uso del suelo)													
		Alteración del paisaje													
		Apropiación de los recursos	x	x	x	I	I				x	x			
	ECONOMIA	Generación de residuos													
		Ocupación de áreas sin planificación													
		Empleo	x				x	x							
	Mayor producción	x	x	x	x	x									
	Potenciamiento de la comercialización														

## **11. Mapa de susceptibilidad a la erosión**

El mapa temático de susceptibilidad a la erosión del Corregimiento de Gabriel López (figura 30) se realizó mediante modelamiento de las coberturas vegetales (figura 29), unido a la cantidad de suelo erodado (figura 21) que se determinó en los dos tratamientos; identificando las zonas más susceptibles a los procesos erosivos mediante un polígono y una coloración que los identifique. Teniendo en cuenta el movimiento que tiene la red hídrica hacia un punto de confluencia; como la ciénaga de Calvache y el río Palacé (figura 28). Donde por su geología y topografía han dado forma a una pequeña cuenca u hoya hidrográfica (figura 31) donde son depositados por escorrentía superficial gran cantidad de sedimentos y partículas como lo demuestra esta investigación provenientes de las actividades agropecuarias, causando una alteración de las características ambientales que son propias de los ecosistemas altoandinos.



# Mapa Base Corregimiento de Gabriel López

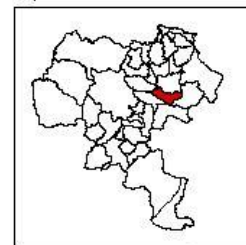


Cotas de elevación

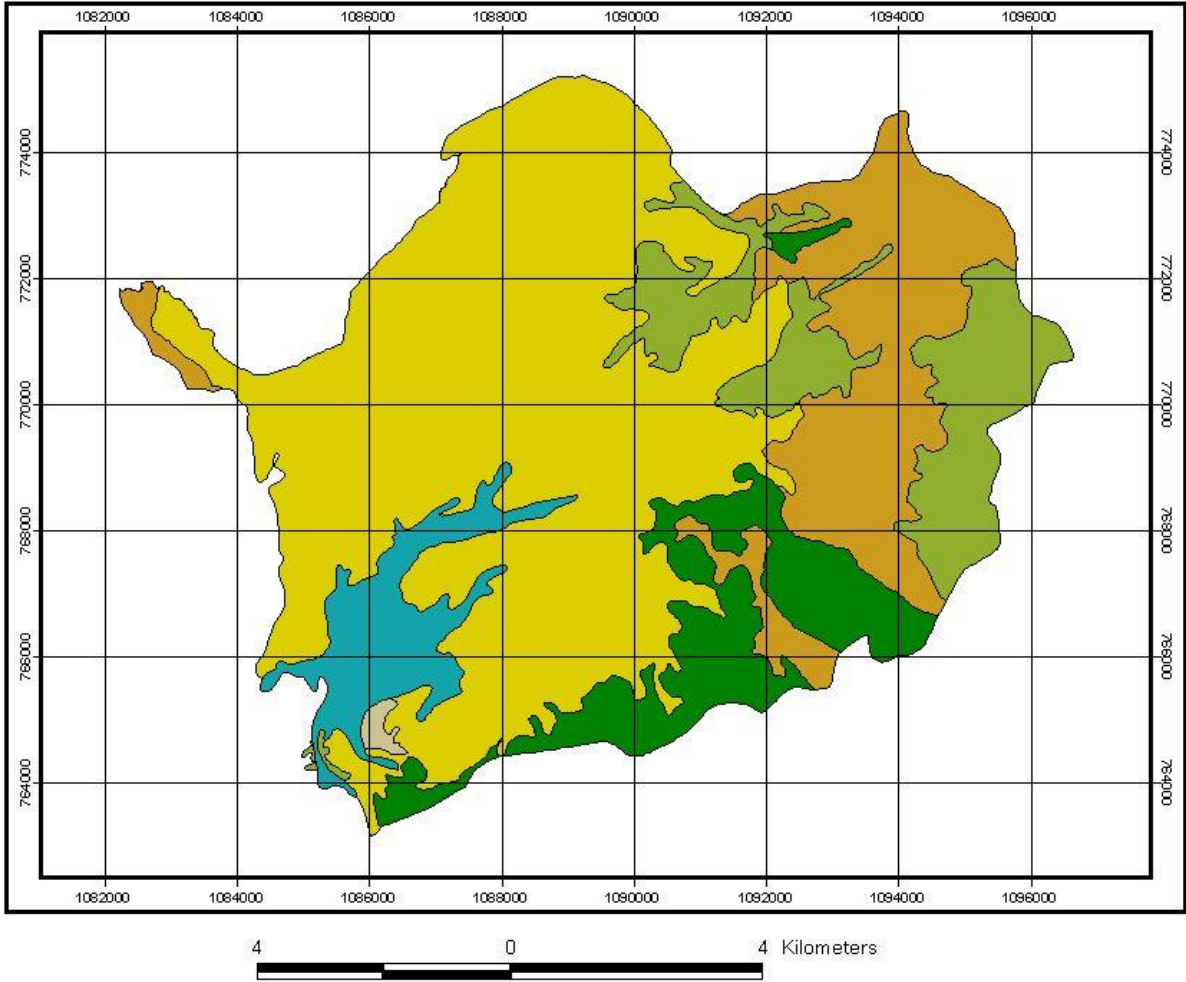
- 3000
- 3100
- 3200
- 3300
- 3400
- 3500
- 3600
- Río Principal
- Río Secundarios
- Laguna
- Limite
- Acentamientos humanos
- Vias Secundarias
- Caminos
- VSECUN
- Via Principal
- Puntos de Muestreo

Cartografía estructurada por:  
Fernando Andrés Muñoz Gómez

Departamento del Cauca



# Mapa de Coberturas Vegetales Corregimiento de Gabriel López



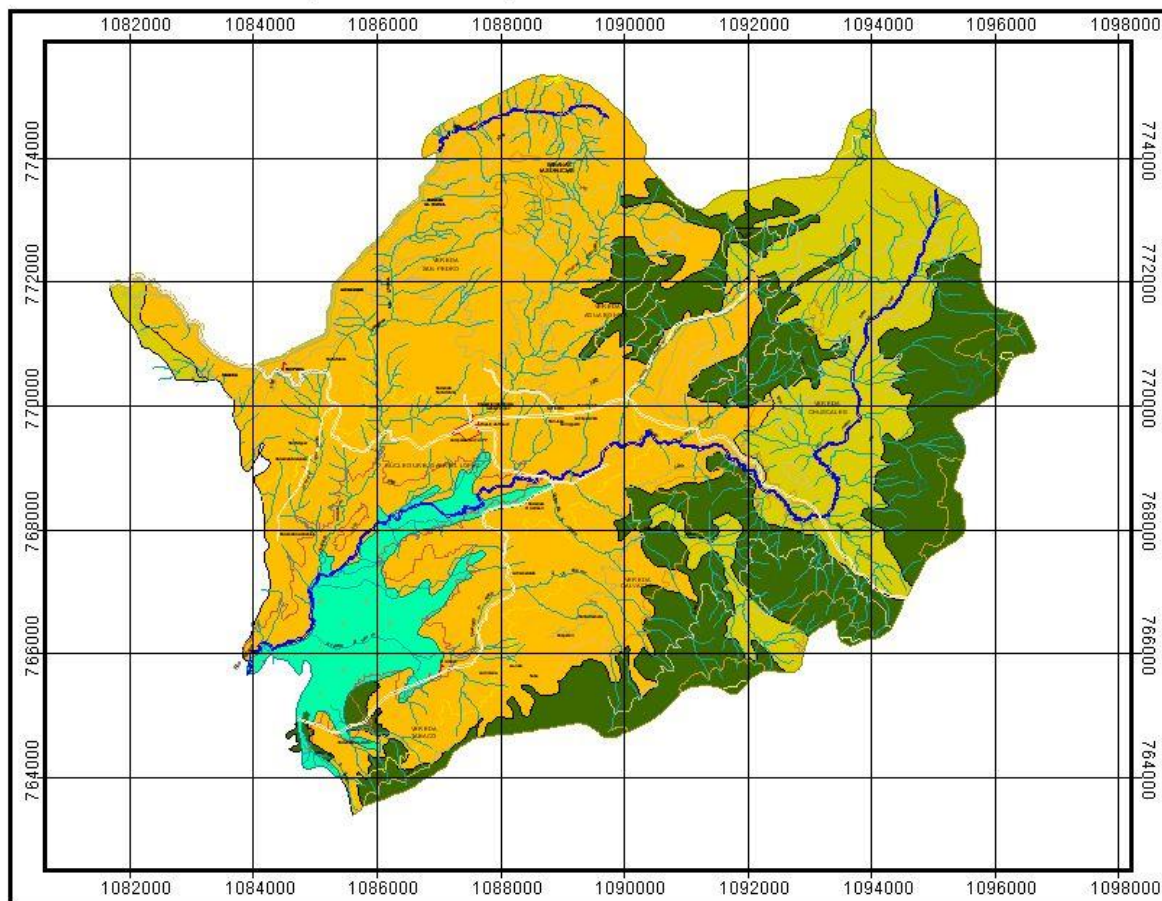
- Tipo de Cobertura
- Bosque Abierto ( 1234.3Ha)
  - Bosque Denso ( 1119.6Ha)
  - Ciénaga ( 618.8Ha)
  - Cultivos y Pastizales ( 5419.1Ha)
  - Matorral ( 35.7Ha)
  - Pastizal Abierto ( 1740.8Ha)

Cartografía estructurada por:  
**Fernando Andrés Muñoz Gómez**

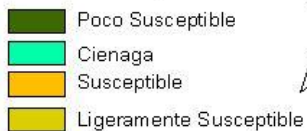
Departamento del Cauca



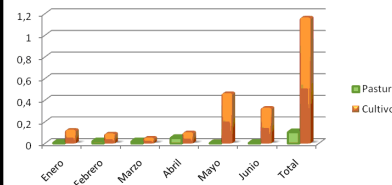
# Mapa de Susceptibilidad a la Erosión



## Áreas Susceptibles

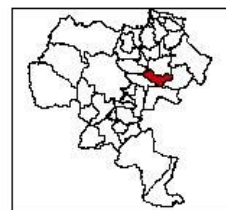


## SUELO ERODADO ton/ha/mes



Cartografía Estructurada por:  
Fernando Andrés Muñoz Gómez

Departamento del Cauca





## 12. CONCLUSIONES

- Los bajos niveles de escorrentía en el sistema de cultivo para los meses de marzo y abril tienen un comportamiento atípico que puede ser explicado por el arrastre o destrucción de sellos presentes en la superficie del suelo por efecto de la lluvia, la roturación o la pérdida de humedad por insolación. Todos estos factores pueden ser los responsables del incremento en la infiltración y por ende disminución de la escorrentía superficial.
- La presencia de niveles altos de escorrentía para los meses de junio y mayo se debe principalmente a que los suelos tienen un nivel de saturación alto, pues durante esta temporada se presentaron altos volúmenes de precipitación; y a la formación de costras que taponan los macroporos impidiendo la infiltración del agua.
- Las investigaciones desarrolladas con simuladores de lluvia en diferentes agro-ecosistemas demuestran que la mayor cantidad de suelo erodado se presenta en el suelo desnudo y que la cobertura vegetal es un agente protector:
- El minisimulador se adaptó a las condiciones presentes en la zona de estudio para evaluar la susceptibilidad a la erosión; permitiendo comparar los tratamientos en suelo desnudo y pastura ante las variables de medición como pérdida de suelo, escorrentía e infiltración.
- Se puede comprobar como el proceso erosivo está influenciado por la capacidad de infiltración del suelo, que regula la escorrentía y por ende el suelo erodado que está directamente relacionada; es decir: que a mayor infiltración menor suelo desplazado.
- En las áreas con pastura se puede demostrar el papel fundamental de las coberturas vegetales al mantener un nivel permanente de humedad y el efecto mecánico de las raíces poco profundas que se dispersan con facilidad permitiendo agregar las partículas del suelo y anclar el suelo superficial.
- El suelo con cobertura vegetal, se adapta mejor a los efectos erosivos de las gotas de lluvia, presentando los valores más bajos de escorrentía y suelo erodado pero los más altos en infiltración, señalando al suelo de cultivo como el más susceptible a ser transformado.

- El suelo con pastura hace notar las diferencias en materia orgánica, lo que indica que el laboreo y las prácticas agrícolas disminuyen el contenido de este material en el suelo.
- El suelo desnudo utilizado en el motocultivo de papa es una de las actividades más utilizadas por los agricultores de la zona, la cual presentó las condiciones más desfavorables respecto a: suelo erodado, escorrentía, infiltración; propiedades físicas, químicas, lo que sugiere que este tipo de manejo presenta alto riesgo a la erosión. Por esta razón se hace un llamado de atención para encaminar acciones hacia la conservación de los suelos en este tipo de ecosistemas.
- Las actividades agrícolas en suelos ándicos generan fuertes roturaciones sometido a cambios de humedad, condiciones de alta fluidez y la formación de capas compactadas que dañan su estructura haciéndolo susceptible a la erosión, especialmente cuando las condiciones climáticas presentan una gran probabilidad de concentración de lluvias intensas y de larga duración.
- A través de la implementación de instrumentos y modelos como los usados, se puede prever los riesgos o planificar las medidas para su prevención y control evitando o disminuyendo los peligros de daños a tierras, cultivos, bienes y personas que de ellos pueden derivarse.
- La matriz de FEARO permite identificar los componentes más afectados por las actividades agropecuarias como son: suelo, flora fauna y economía ya que las coberturas vegetales propias de estos ecosistemas son eliminadas o transformadas a pastizales; causando deterioro de las propiedades físicas, químicas y biológicas en los suelos, teniendo como uno de los principales factores los asociados a los procesos erosivos.
- Los suelos con predomios de arenas muy finas y limos presentan una baja estabilidad al impacto de las gotas de lluvia por la baja cohesión de las partículas dentro de las unidades estructurales. Reflejando en la formación de sellos superficiales que generan un descenso en la permeabilidad del suelo.
- En definitiva, parece evidente que nos encontramos ante un problema muy serio que amerita establecer un plan de manejo integral de la cuenca alta del río Palacé, en el cual una de las actividades más importantes debería ser la conservación del medio ambiente a través de la recuperación y conservación del suelo y las coberturas vegetales que permitiría minimizar e incluso eliminar la susceptibilidad de los suelos de esta zona a los procesos erosivos.

### **13. RECOMENDACIONES**

Con esta investigación se presenta al minisimulador de lluvias como una herramienta para evaluar la susceptibilidad de los suelos ándicos ante procesos erosivos y sus características asociadas, por lo cual se recomienda su utilización para futuras investigaciones en este campo.

El estudio de las características tanto físicas como químicas de suelos ándicos se recomienda tener mesura a la hora de hacer afirmaciones pues el alto contenido de materia orgánica dificulta la obtención de valores reales.

Tomar este trabajo de investigación como un apoyo en la planeación de talleres didácticos dirigido a la comunidad agropecuaria en especial del Corregimiento de Gabriel López, con la finalidad de disminuir los riesgos causados por la erosión en la zona, mediante demostraciones en sistemas de cultivo contrastantes, ya que gran cantidad de las corrientes superficiales del sector desembocan en la Ciénaga de Calvache o el río Palacé fuente del nuevo acueducto de Popayán generando colmatación o altos niveles de sedimentación por la gran cantidad de partículas transportadas.

## BIBLIOGRAFÍA

- ABRUÑA, F., W. PEARSON y R. PEREZ, E. (1974). Respuesta del maíz y frijol al encalamiento en Oxisols y Ultisols de Puerto Rico. En Seminario " Manejo de suelos en la america tropical" North Carolina-CIAT. Cali (pp, 267-287).
- AMEZQUITA, C. E. CALDERÓN, C. A. et.al (1995) Fundamentos para la interpretación de análisis de suelos, plantas y aguas para riego. En Sociedad colombiana de la ciencia del suelo. Segunda edición, Santafé de Bogotá.
- ARROYAVE, J. F., TAPASCO, J A., RIVERA, B., OBANDO, F., (2000). Viabilidad del uso del modelo EPIC para estimar perdida de suelo en zonas de ladera.
- ARNALDO, O. L., P.WILDING y C.T. HALLMARK., (1990). Characterization and wind erosion of Andisols in Iceland.. trans. 14 th Int. Congress of Soil Science. Kyoto (Japón). VII: 374-375.
- ANAYA, M., (1986). Problemas de erosión desertificación en suelos de América Latina. En: Revista. Suelos Ecuatoriales Vol. XVI, No 1-0.
- BARCO, R. D., (1998). Manual para el control de la erosión Editar S. A Manizales Colombia.
- BETANCOURT, P., OROPEZA, J. L., FIGUEROA, B., ORDAZ, V., ORTIZ, C. y HERNANDEZ, A., (2000). Perdidas de suelo y potencial hidrológico en parcelas con coberturas vegetativas de especies forrajeras. *TERRA*. Vol. 18 N° 3.
- BARBER, R.G., (1982). The magnitudes and sources of soil erosion in some humid and semiarid parts of Kenya. En: (Thomas y Senga, ed) Proc." *Znd National Workshop on the Soil and Water Conservation in Kenya*". Univ. of Nairobi (Kenya) 20-45.
- BORNEMISZA, E. (1965). Conceptos modernos de la acidez del suelo. Turrialba (C. R.) 15(1):2024.
- BRAVO, R. I y GIRALDO, R. E., (1998). Manual de prácticas de química agrícola: Análisis de suelos. Universidad del Cauca. Facultad de Ciencias Naturales Exactas y de la Educación. Departamento de Química. Popayán.
- BURGOS, A., (1987). El manejo inadecuado de la ganadería como factor de erosión en los suelos de ladera. En: *Revista Suelos Ecuatoriales*. Vol. XVII, No 2.
- BUBENZER, G. D., (1979). Rainfall characteristics important for simulation, in proceeding of the Rainfall Simulator Workshop. Tucson, Arizona. Departamentof



agriculture Science and Education Administration Agricultural. 52 *Reviews and Manuals*. ARM – W - 10. Julio, p. 22 – 35.

CAMPO, Q. J. (2004) Evaluación de la susceptibilidad a la erosión hídrica, del contenido de materia orgánica y de las propiedades físicas, en un oxic dystropept bajo seis historias de uso intensivo, en Pescador Cauca, mediante el uso de un minisimulador de lluvia. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ingeniería y Administración Plan Ingeniería Agrícola. Palmira.

CASTILLO, J. A., (1994). Determinación del índice de erodabilidad (K) en dos suelos del departamento del Cauca Colombia. Palmira. Universidad Nacional de Colombia.

COBO, Q. L., (1998). Diseño, construcción y evaluación de un mini simulador portátil de lluvia para estudios de susceptibilidad a erosión en laderas. Universidad del Valle – Universidad Nacional. Facultad de Ingeniería Agrícola. Santiago de Cali - Palmira.

CHARÁ J D (2002) Interacciones entre el uso del suelo y los aspectos bióticos y abióticos de microcuencas en el departamento del Quindío. Informe del Convenio CIPAV - Corporación Autónoma Regional Del Quindío CRQ, Cali, Colombia.

DE NONI, G., VIENNOT, M., (1989). L'Erosion et al conservation des sols en Equater. En: Proc. "16 th int. Conference on soil Conservation", isco. Addis-Ababa (Etiopia).

DIEZ, H. J.(s.f). Metodologías para la evaluación de la erosión hídrica en cuencas y vertientes. Universidad de Valladolid. UVA. Madrid España, p. 2 - 6

ESPINAL. S., (1977). Zonas de vida o formaciones vegetales de Colombia. IGAC Subdirección Agrícola Vol. XIII No 11 Bogota D.C.

Esquema de Ordenamiento Territorial (EOT). Municipio de Totoró Departamento del Cauca (2002).

ELLISON, W. D., (1944). Rainfall applicator. Agr. Eng. 25 No 6., p. 22.

FAO (1996) Producción de alimentos e impacto ambiental. En: Documentos técnicos de referencia. Roma.

FIGUEROA, C. A., CONTRERAS, R. R y SANCHES, D. J., (1998). Evaluación de impacto ambiental un instrumento para el desarrollo. En:La evaluación de Impacto Ambiental (EIA). Cali – Colombia. Centro de Estudios Ambientales para el Desarrollo Regional. p. 56 – 58, 87.

FIORI, H y MARTINEZ, S., (1985). Perdidas por erosión y medidas de infiltración con la lluvia simulada en tres suelos agrícolas de Uruguay. Universidad de la Republica. Facultad de Agronomía. Montevideo. Tesis Ing. Agrónomo.

FLACH, K. W., (1969). El uso de la 7ª Aproximación para la clasificación de suelos de ceniza Volcánica. En: Mem. "Panel sobre suelos derivados de cenizas volcánicas en América Latina" II CA. Turrialba (Costa Rica).

FLECHER, G. A. ., LOMBANA, C. A.(1982). Estudio general de suelos de la región nororiental del Departamento del Cauca. Instituto geográfico "Agustín Codazzi". Bogota, D.C. p. 204.

FORSYTHE, W. M., (1974). Relaciones suelo-agua en suelos derivados de ceniza volcánica de Centro América. En: (Bornemisza y Alvarado, ed) "Manejo de suelos en la América Tropical". NCSU. Raleigh N.C. (USA). 158-171.

GHADIRI, H. and PAINE, D., (1977). Raindrop impact stress and the breakdown of soil crumbs. *Journal of soil Science* 28, 247 – 258.

GONZALEZ, A y CORTES, A., (1982). Estudio general de suelos de la región nororiental del Departamento del Cauca. Disponible en CRC.

HERRERA, P., AMEZQUITA, E., GUERRERO. L., RESTREPO. L., (1991). Efectos de la labranza en algunas propiedades físicas de un suelo Andino. *Revista. Suelos Ecuatoriales*. Vol. XXI, No. 1e.

HINCAPIE, G. E., RIVERA, P. H. y OBANDO, M. F., (2000). Determinación del factor erodabilidad de un Andisol en cuatro localidades de la zona cafetera Colombiana. En: *resúmenes por congreso nacional de ciencia del suelo*. Octubre 11-13.

HUDSON, N. W., (1982). Conservación del suelo. Editorial Reverte, S.A. Barcelona-Bogotá-Buenos Aires-Caracas-Mexico-Rio de Janeiro.

----- (1962). The influence of rainfall on the mechanics of soil erosion. M. Sc. Thesis, Univ. Of Café Town.

IDEAM (1998) El Medio Ambiente en Colombia. (Ed: Pablo Leyva). Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales Bogotá, Colombia, 495 p.

----- (2001). Sistema Nacional Ambiental. Adscrito al Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial de Colombia.

INSTITUTO GEOGRAFICO AGUSTIN COTAZZI (IGAC), (1987). Inventario de la erosión y degradación de los suelos en Colombia. Ponencia presentada en el IV Congreso Colombiano de la ciencia del suelo. Neiva 18-21.

KAMPHORST, A., (1987). A Small Rainfall Simulator For The Determination of Soil Erodability. *Netherlands Journal of Agricultural Science*, 35:407-415.

KIRBY, M. J y MORGAN, R. P. C., (1984), Erosión del suelo, Editorial Limusa. S. A., México D. F.

LAL, R., (1994). Methods and guidelines for assessing sustainable use of soil and water resource in the tropics, US department of agriculture & The Ohio State University Department of agronomy, Ohio, U. S. A.

- - - - - (1988). Soil Erosion Research Methods. Iowa. USA . Soil and Conservation Society. P. 227.

LEONARD, R. L., KAPLAN, L. A., ELDER, J.F., COATS, R N y GOLMAN, CH.R. (1979). Nutrient transport in surface runoff from a sub alpine watershed, Lake Tahoe basin, California. *Ecological. Monographs* 49(3). p. 281-310.

MATINEZ, J. H (2005) Estudio espacio temporal del proceso de fragmentación en la zona nor-oriental del Parque Nacional Natural Puracé, mediante el análisis de las comunidades vegetales. Universidad del Cauca, Facultad de Ciencias Naturales, Exactas y de la Educación Programa de Biología, Popayán.

MALAGON, C, D., PULIDO, R, C., LLINAS, R, R., CHAMORRO, B, C., FERNANDEZ, L, J. (1995). Suelos de Colombia origen, evolución, clasificación, distribución y uso. Ediciones e impresiones. Canal Ramírez Antares Ltda. Santafé de Bogota, D. C. p. 421 – 433.

MARELLI, H. J., ARCE, J. M., MASIERO, B., (1986). Simulador de lluvias para investigaciones básicas en conservación de suelos. En: *Publicación técnica Nº 8. Serie Suelos y Agro climatología*.

MEYER, L. D., HARMON, W. C., (1979). Multiple – intensity rain – fall simulator for erosion research on row sides lopes. *Trans of ASAE* 22 (1)., p 100 – 103.

-----Methods for attaining desired rainfall characteristics in rainfall simulators. In proceeding of the Rainfall Simulator Workshop. Tucson, Arizona. Department 54 of Agricultura Science and Education Agricultural Reviews and Manuals – ARM – w – 10. Julio, p. 35 – 45.

MONTOYA, J. M y OBANDO, F. H (2002). Adaptación y calibración de un simulador de lluvia para estudios de erosión de suelos de ladera. En: *Revista, Suelos Ecuatoriales*. Vol. 32.

MONTENEGRO, G. H y MALAGON, C. D., (1990). Propiedades físicas de los suelos. IGAC, Subdirección de Agricultura. Bogota., p. 160 – 168.

MORGAN, R. P. C.,(1986). “Factors influencing erosion”, En: *Soil erosion and conservation*, Jon Wiley & Sons, New York, Cap. 3.

NEVEL, B. J., WRIGHT, R. T., (1999). *Ciencias Ambientales Ecológicas y desarrollo sostenible*.

OBANDO, F., (s.f). Retos de investigación extensión en conservación de suelos en la zona andina. Un modelo integrado. *Agronomía*. En: *Revista de la Facultad de Ciencias Agronómicas*, Universidad de Caldas (9): 21-32.

OBANDO. F., (2000). Métodos para cuantificar los impactos de la erosión hídrica sobre la productividad de suelos tropicales. En: *Revista. Suelos Ecuatoriales*. Vol. 30.

PLA, I. S., (1992) La erodabilidad de los Andisoles en latino América. En: *Revista Suelos Ecuatoriales*. Vol. 22, Nº 1.

- - - - - (s.f). Simuladores de lluvia para el estudio de relaciones suelo-agua bajo agricultura de secano en los trópicos. En: *Revista Alcance*. Facultad de Agronomía, Universidad Central de Venezuela Vol. 12 (12): 82-92.

Plan Básico de Ordenamiento Territorial (POT), Municipio de Silvia, Cauca (2000)

PEREIRA, H. C., (1955). A rainfall test for structure of tropical soils. *Jour, soil Sci*. 7(1):p. 68-74.

PUENTES, R., VICTORIA, C., SZOGI, A., SCIARRA. D., ACOSTA, G., FIORI, H., MARTINEZ, S.(1987). Diseño y calibración de un simulador de lluvia de bajo costo. En: *Revista Suelos Ecuatoriales* – Vol. XVIII, Nº 2.

RIVERA J M SADEGHIAN S, MURGUEITIO E, Y MEJÍA C (2001) Ordenamiento ambiental y reglamentación del uso y manejo del suelo en la zona cafetera. En: *Suelos del eje cafetero*. Universidad Tecnológica de Pereira y GTZ. Fondo Editorial del Departamento de Risaralda. Pereira, Colombia, p 96-108.

RIVERA, P. H., LAL, R., AMEZQUITA, C. E., MESA, S.O y CHAVES, C B. (1998). Erodabilidad de cinco suelos de la zona cafetera central colombiana mediante simulación de lluvias. En: *Revista Cenicafé*. Vol. 449 (3): 97-210.

RODRIGUEZ, O. S., RODRIGUZZ, O. E y PAEZ, M. L., (1987). Adaptación y aplicación de un simulador de lluvia "Tipo Boquilla" para trabajos de laboratorio y campo en conservación de suelos y agua. *Revista Suelos Ecuatoriales* Vol. XVII, N° 2.

SMITH, D. D; WISCHEIRE. W. H., (1962). Rainfall erosion advances in *Agronomy*, 14; 109-149.

SUAREZ, F. M., (1991). Estudio semi detallado de erosión de la cuenca hidrográfica del río Dagua. *Informe C.V.C.* N° 91-155 Cali.

- - - - - (1987). Las remociones masales en suelos andicos en la zona Andina Colombiana. *Revista. Suelos Ecuatoriales.* Vol. XXII, No 2.

- - - - - (1982). Estudio detallado de erosión Rio Hondo, La Tetilla, Cuenca Palacé-Robles,. *Informe C.V.C.* N° 82-6. Cali.

SUAREZ, F. M. y FORERO, J., (1983). Anotaciones sobre el uso y manejo de los suelos en laderas de clima medio en los departamentos del Valle del Cauca y Cauca. *Memorias de II congreso colombiano de la ciencia del suelo*, Pasto.

THUROW, T, L. y SMITH, J. T., (s.f). Evaluación de métodos de conservación de suelos y agua aplicados a tierras de ladera cultivadas en el sur de Honduras. Departamento de Ecología y Manejo de terrenos de pastos. Texas A & M, Collage Station. Agencia para el desarrollo internacional programa de investigación colaborativa de manejo de suelo de la Universidad de Texas A & M. Boletín técnico N° 98—2. Texas, USA.

TORRES, P. A., (2000). Evaluación de la susceptibilidad a la erosión y de las características asociadas (infiltración, y escorrentía) de los suelos de ladera en el departamento del Cauca, mediante un mini simulador de lluvia. Universidad del Valle, Universidad Nacional de Colombia (Palmira). Facultad de ingeniería, Plan de ingeniería agrícola. Cali .

WISCHMEIER, W. H., (1978). Predicting rainfall erosion losses. *Agriculture Handbook* N° 537. Sci. And Educ. Admin., U. S. Dept. Agr., Washington.

WISCHMEIER, W., D. D. SMITH, and R. E UHLAND., (1958). Evaluation of factors in the soil-loss equation, *Agricultural Engineering*, 39, 8, 458-462, 474.

Departamento de Edafología y Química Agrícola Universidad de Granada. España  
Unidad docente e investigadora de la Facultad de Ciencias. *Lección 4.*  
*Propiedades físicas* [en línea] Última actualización: 07/05/07 [fecha de consulta 14  
de Diciembre del 2007] disponible en  
<<http://edafologia.ugr.es/introeda/tema04/text.htm>>