



**UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA**

**La Universidad Católica de Loja**

**ESCUELA DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y AMBIENTALES**

**CARRERA INGENIERÍA EN GESTIÓN AMBIENTAL**

**“ÁREAS SUSCEPTIBLES A RIESGO DE EROSIÓN Y CON MAYOR CAPACIDAD DE ALMACENAMIENTO DE AGUA EN LA SUBCUENCA MALACATOS - CANTÓN LOJA”**

Tesis previa a la obtención del Título  
de Ingeniero en Gestión Ambiental

**AUTOR:**

Cristhian Fabián Prieto Merino

**DIRECTOR:**

Ing. Pablo Ochoa Cueva

LOJA – ECUADOR

2009

## CERTIFICACIÓN DEL DIRECTOR DE TESIS

Loja, 11 de mayo del 2009

Ingeniero

Pablo Ochoa Cueva

DOCENTE INVESTIGADOR DE LA UTPL

Que el trabajo de tesis denominado: **“Áreas susceptibles a riesgo de erosión y con mayor capacidad de almacenamiento de agua en la Subcuenca Malacatos - Cantón Loja”**; presentado por el Sr. Cristhian Fabián Prieto M. ha sido dirigido, revisado y discutido en todas sus partes. Por lo cual autorizo la presentación, sustentación y defensa del mismo.

Ing. Pablo Alejandro Ochoa Cueva

**DIRECTOR DE TESIS**

## AUTORIA

Las ideas, opiniones, criterios y recomendaciones plasmadas en el presente trabajo, son de exclusiva responsabilidad del autor.

*Cristhian F. Prieto M.*

## CESIÓN DE DERECHOS

Yo, Cristhian Fabián Prieto Merino declaro ser autor del presente trabajo y eximo expresamente a la Universidad Técnica Particular de Loja y sus representantes locales de posibles reclamos y acciones legales.

Adicionalmente declaro conocer y aceptar la disposición del Art. 67 del Estatuto Orgánico de la Universidad Técnica Particular de Loja que en su parte pertinente textualmente dice: “Forman parte del patrimonio de la Universidad la propiedad intelectual de investigaciones y tesis de grado que se realicen a través, o con el apoyo financiero, académico o institucional (operativo) de la Universidad.

f.)

---

Cristhian F. Prieto Merino

**AUTOR**

## AGRADECIMIENTO

Primeramente a Dios, por brindarme sabiduría y salud para poder alcanzar mi meta académica.

A la Universidad Técnica Particular de Loja por permitirnos realizar nuestros estudios profesionales como a todo el Personal Docente de la Escuela de Gestión Ambiental quienes supieron compartir sus conocimientos.

Al personal que trabaja en el Laboratorio de Suelos del CITTES Servicios Agropecuarios, especialmente al Ingeniero Juan Ignacio Burneo, a la UCG (Unidad Civil Geominera) principalmente al Ingeniero Ángel Tapia, al personal de la estación meteorológica de la Argelia y a Karl-Heinz Diertl de la Estación Científica San Francisco quienes ayudaron proporcionándonos todos los medios necesarios para la ejecución de la presente investigación.

Un agradecimiento muy especial a mis compañeros Fabiola Martínez, con sus conocimientos de laboratorio, Christian Maza con sus conocimientos de trabajo de campo.

Finalmente de manera muy especial al Ingeniero Pablo Ochoa quien me guió y orientó para la elaboración y culminación de esta investigación, en general a todo el personal del IMSS (Instituto de Manejo Sustentable del Suelo).

## DEDICATORIA

*“Dedico esta investigación a mis padres Jorge Tito y Gladys María quienes me han apoyado económica y moralmente, ellos quienes estuvieron siempre a mi lado dándome ánimo y consejos para salir adelante; a mis hermanos Stalin y María Daniela quienes con su alegría, supieron inspirar en mí el espíritu de superación y sobre todo a mi esposa Jenny Maritza Armijos por su amor, comprensión y por su apoyo incondicional”*

*Cristhian F. Prieto Merino*

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

CERTIFICACIÓN DEL DIRECTOR DE TESIS .....	II
AUTORIA .....	III
CESIÓN DE DERECHOS .....	IV
AGRADECIMIENTO.....	V
DEDICATORIA.....	VI
ÍNDICE DE CONTENIDOS .....	VII
RESUMEN .....	X
1.- INTRODUCCIÓN .....	1
2.- ANTECEDENTES .....	4
3.- OBJETIVOS .....	5
3.1 General:.....	5
3.2 Específico:.....	5
4.- REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA .....	6
4.1 CUENCA HIDROGRÁFICA .....	6
Cuenca de recepción. ....	6
Garganta. ....	6
Cono de deyección.....	7
- La función hidrológica .....	8
- La función ecológica .....	8
- La función ambiental .....	8
- La función socioeconómica.....	8
4.2 DISPONIBILIDAD DE AGUA .....	8
Capacidad de campo. ....	9
Punto Marchitez. ....	9
4.3 EROSIÓN .....	10
Erosión eólica.....	10
Erosión hídrica. ....	10
Erosividad de la lluvia (Factor R) .....	12
Factor de erodabilidad del suelo (K) .....	13
Factor de longitud y grado de la pendiente (LS) .....	13
4.4 FÍSICA DEL SUELO .....	14
Propiedades físicas del suelo .....	14
Textura. ....	14
Materia orgánica.....	15

Densidad aparente.....	16
Estructura.....	16
Permeabilidad.....	16
4.5 SIG.....	16
Interpolación.....	18
5.- ÁREA DE ESTUDIO.....	19
5.1 Ubicación Política.....	19
5.2 Ubicación Geográfica.....	19
5.3 Extensión, Clima y Ecología.....	20
6.- METODOLOGÍA.....	22
6.1 Levantamiento de información.....	22
6.2 Fase de campo y laboratorio.....	23
6.3 Análisis de datos.....	26
7.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	36
8.- CONCLUSIONES.....	59
9.- RECOMENDACIONES.....	60
10.- BIBLIOGRAFÍA.....	61

### Lista de tablas

Tabla 1. Área de cada una de las quebradas de la subcuenca Malacatos.....	20
Tabla 2. Parámetros para determinar el tipo y condición de la vegetación.....	27
Tabla 3. Clasificación del Índice de Fournier Modificado.....	28
Tabla 4. Valores de las clases texturales.....	30
Tabla 5. Código según el tipo de estructura.....	30
Tabla 6. Códigos de permeabilidad.....	31
Tabla 7. Superficie ocupada por los diferentes tipos de cobertura dentro de la subcuenca Malacatos.....	38
Tabla 8. Matriz de correlación entre Altitud, tipo y Condición de la vegetación.....	40
Tabla 9. Datos de precipitaciones anuales de las estaciones meteorológicas.....	43
Tabla 10. Áreas susceptibles a riesgo de erosión.....	44
Tabla 11. Valores de erodabilidad (K).....	44
Tabla 12. Factor de la longitud y grado de la pendiente.....	45
Tabla 13. Resultados de riesgo de erosión hídrica en tres años.....	47
Tabla 14. Resultados de riesgo de erosión hídrica de tres meses del año 2005.....	52
Tabla 15. Correlación entre la altitud, textura, erosión y lámina almacenable de agua.....	56



## Lista de Figuras

Figura 1. Partes de una cuenca.....	7
Figura 2. Raster, vector, mundo real.....	18
Figura 3. Localización del área de estudio.....	19
Figura 4. Área de estudio por cuadrículas .....	23
Figura 5. Esquema para la toma de muestras en cada una de las áreas de muestreo.....	25
Figura 6. Diseño sistemático para toma de muestras .....	26
Figura 7. Triángulo textural según la clasificación del USDA.....	29
Figura 8. Representación del infiltrómetro sobre el terreno .....	31
Figura 9. Superposición de mapas.....	34
Figura 10. Tipos de cobertura vegetal de la subcuenca Malacatos. (A) Pastizales, (B) Bosque montano, (C) (D) Sucesión /plantaciones y (E) Páramo.....	37
Figura 11. Distribución cobertura vegetal – altitud.....	38
Figura 12. Condición de la vegetación en la microcuenca Namanda.....	41
Figura 13. Condición de la vegetación en la microcuenca Mónica .....	42
Figura 14. Condición de la vegetación en la microcuenca Curitroje.....	42
Figura 15. Mapa de erosión potencial año 1998.....	49
Figura 16. Mapa de erosión potencial año 2001 .....	50
Figura 17. Mapa de erosión potencial año 2005.....	51
Figura 18. Mapa de erosión potencial año 2005 - marzo .....	53
Figura 19. Mapa de erosión potencial año 2005 - julio .....	54
Figura 20. Mapa de erosión potencial año 2005 - noviembre.....	55
Figura 21. Lámina potencialmente almacenable de agua .....	58

## Lista de ecuaciones

Ecuación 1. Ecuación para predecir un valor .....	18
Ecuación 2. Índice de Fournier Modificado .....	28
Ecuación 3. Ecuación de erodabilidad.....	32
Ecuación 4. Factor de longitud de la pendiente (Wischmeier y Smith, 1965) .....	32
Ecuación 5. Exponente en función de la pendiente.....	33
Ecuación 6. Factores de gradiente del terreno (Wischmeier y Smith, 1957).....	33
Ecuación 7. Lámina potencialmente acumulable de agua .....	34
Ecuación 8. Capacidad de campo.....	34
Ecuación 9. Punto de marchitez permanente.....	35
Ecuación 10. Fórmulas para cálculos de humedad y densidad aparente.....	35

## RESUMEN

El presente estudio se desarrolló al sur-este del cantón Loja, en la subcuenca Malacatos ubicada dentro de las coordenadas  $4^{\circ} 1' 48,4''$  -  $4^{\circ} 6' 44,4''$ S;  $79^{\circ} 9' 4,7''$  -  $79^{\circ} 12' 10,3''$ O, la misma que incluye tres quebradas: Namanda, Mónica y Curitroje; el objetivo del mismo fue, identificar áreas susceptibles a riesgos de erosión y con mayor capacidad de almacenamiento de agua. El diseño se basó en una recopilación de información, toma de 31 muestras dentro de la subcuenca Malacatos, determinación en el laboratorio de materia orgánica, textura, densidad, etc., análisis de datos y resultados. Para la estimación de la erosión potencial se aplicó la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo revisada (RUSLE), que fue evaluada mediante el análisis multiplicativo de tres factores: "*erosividad, el grado & longitud de la pendiente y erodabilidad*"; además se utilizó la ecuación de la Lámina de agua potencialmente almacenable, donde los resultados obtenidos nos revelan la capacidad que tiene el suelo para almacenar agua. Para determinar la erosión potencial, se realizó un análisis multitemporal considerando los años: 1998, 2001 y 2005. Con la ayuda del programa ArcGis 9.2 se pudo identificar las áreas con mayor susceptibilidad a erosionar, las mismas que las podemos encontrar en las partes altas de la subcuenca Malacatos sobre todo en la quebrada Mónica. En cuanto a los resultados obtenidos sobre la capacidad de almacenamiento de agua, podemos encontrar mayor retención del líquido en las partes bajas de la subcuenca, esto se debe a que en las partes altas encontramos suelos con mayor cantidad de arena lo cual no permite la retención de este líquido, a diferencia de las partes bajas de la subcuenca donde encontramos suelos con mayor cantidad de arcilla, la misma que facilita la retención del agua; con estos resultados obtenidos es necesario dar mayor atención y diseñar adecuados planes de manejo con la finalidad de conservar las partes altas de la subcuenca Malacatos, incluyendo cada uno de sus componentes bióticos y abióticos.

### **Palabras claves:**

Cuenca hidrográfica, Disponibilidad de agua, Erosión, Física del Suelo, Sistemas de Información Geográfica (SIG).



## **1.- INTRODUCCIÓN**

El suelo desde siempre ha sido un recurso natural indispensable para las actividades humanas, sustenta las plantas, los animales, los bosques, el recurso agua y a las personas, por lo que se convierte en uno de los recursos más valiosos del planeta; sin embargo, el uso inadecuado de este recurso se ha convertido en un problema a medida que se ha incrementado exponencialmente la población humana, convirtiendo el suelo en el recurso natural más vulnerables de degradación (Comisión de la Unión Europea, 2002)

Uno de los asuntos que más preocupa es el de la superpoblación. En los últimos años, la fecundidad ha descendido en los países desarrollados y en aquéllos que se encuentran en vías en desarrollo. Aun así, según estimaciones de las Naciones Unidas, la población está creciendo a razón de 78 millones de habitantes por año. Hoy en día, la población mundial supera con creces los 6.000 millones de personas, y se espera que, para el año 2025, esta cifra llegue a los 8.000 millones. Si el crecimiento de la población persiste y con él, el aumento de la demanda y el consumo de los recursos naturales donde los límites ambientales se pondrán de manifiesto (FAO, 2008).

Los principales problemas vinculados al aprovechamiento y manejo del recurso suelo en el sur del Ecuador, tienen relación con las características particulares de los factores biofísicos y socioeconómicos; es decir: el relieve abrupto, suelos frágiles y fácilmente erosionables, estacionalidad marcada de la precipitación, lluvias de elevada intensidad y fuertes sequías de varios meses, avance de la frontera agrícola en áreas no aptas, deforestación acelerada, mal manejo del bosque y vegetación protectoras, mal uso del agua de riego, uso inapropiado de agroquímicos, predominio del minifundio, niveles bajos de organización comunitaria, ausencia de políticas y estrategias que privilegien el manejo de las cuencas altas abastecedoras de agua; son algunos de los factores que han limitado la recuperación del suelo de forma natural, por ende se limita el uso para cualquier necesidad antrópica (N.C.I., 2006).

En la naturaleza, la calidad y aptitud del suelo se restablece por la misma disponibilidad de sus recursos, esto al hablar de ecosistemas en donde no existe ningún nivel de contaminación e intervención humana o actividad antrópica. Actualmente como consecuencia del uso inapropiado del suelo, la degradación está aumentando en muchas



partes del mundo, según un nuevo estudio de la FAO, 2008; recoge datos de un periodo de 20 años que revela el aumento enfocado tanto en severidad y extensión, así: con más del 20 % de las tierras agrícolas, el 30% de los bosques y el 10% de los pastizales; ésta degradación a la vegetación, conducen a la degradación del suelo, alteran las condiciones normales que sirven como soporte de los bosques naturales que retienen y filtran el recurso agua y como consecuencia de esto, baja la disponibilidad de agua, la cantidad y calidad.

“Las tierras de América Latina se están muriendo. Actualmente más de 306 millones de hectáreas están afectadas por una degradación del suelo de origen humano. La capa de suelo rico y fértil se está lavando rápidamente debido a los efectos de la erosión hídrica y como consecuencias posteriores se están sedimentando los cauces de los ríos y colmatando las represas. El recurso suelo es limitado. Sólo el 4 % de las tierras tienen clima favorable, son fértiles y de alta productividad. El 96 % restante tiene limitaciones físicas, químicas y climáticas” (Benítez, 2004).

La población del Cantón Loja, según el Censo del INEC,<sup>1</sup> 2001; representa el 43,2% del total de la Provincia de Loja; ha crecido en el último período intercensal 1990- 2001, a un ritmo de crecimiento de 1,7 % promedio anual. El 32,3 % de su población reside en el Área Rural; se caracteriza por ser una población joven, ya que el 45,3 % son menores de 20 años. Según Cueva 2002, Loja es una de las provincias de la sierra con mayores problemas erosivos; su topografía irregular acentúa aún más este problema, lo que provoca una creciente disminución en la producción agropecuaria, bajos niveles en la calidad de vida de sus habitantes y disminución del almacenaje del líquido vital. Así mismo, es necesario conocer que áreas serían prioritarias para conservarse a través de estudios dentro de las cuencas hidrográficas y la detección de su vulnerabilidad, con la finalidad de proceder a gestionar y realizar actividades que vayan en bien de la protección y conservación de estos recursos naturales.

Es por ello que se manifiesta que los procesos de erosión hídrica y por ende las modificaciones geomorfológicas ocurren naturalmente, logrando un equilibrio dinámico que muchas veces se ven influenciados por las acciones del hombre, acelerando el

---

<sup>1</sup> INEC: Instituto Nacional de estadísticas y Censos



normal movimiento de sedimentos y en consecuencia, modificando los perfiles de escurrimiento y su configuración.

Muchos de estos procesos y sus respuestas no son lineales y tienen gran variabilidad en el espacio y en el tiempo, por lo que el pronóstico de erosiones a través de métodos basados en el análisis numérico o los análisis experimentales constituyen una herramienta muy importante a la hora de planificar y proyectar obras (García, 2006)

Debido a que se ha venido produciendo alteraciones por parte del ser humano a lo largo de la historia, como es transformar no solo las características intrínsecas del suelo, sino que, para darle un uso, lo ha modificado con construcciones en áreas de bosque natural, produciéndose una pérdida global de productividad del suelo, deteriorando las condiciones de vida humana, por el daño a los sistemas de soporte. Produciendo migración y colonización de nuevas áreas de reserva, que se hacen necesarias para la subsistencia; considerando que el ser humano ha estado vinculado a los cuerpos y cursos de agua desde los inicios de la civilización, pero muy poco nos hemos preocupado por mantener éste recurso en buen estado para las futuras generaciones (Benítez, 2004).

Es importante mencionar que el presente trabajo se encuentra dentro de la zona de amortiguamiento de la Reserva de la Biósfera Podocarpus – El Cóndor, misma que guarda en sí, una importante biodiversidad de especies vegetales como animales, a más de su belleza escénica y de un sin número de bienes y servicios ambientales, siendo aprovechada en su mayoría por las poblaciones asentadas en las partes bajas de la Reserva y de la población en general (GEOLOJA, 2007). Por lo que los resultados finales de esta investigación nos permitirán identificar las áreas susceptibles a riesgo de erosión, para en lo posterior poder desarrollar planes de ordenamiento territorial y actividades que contribuyan en la conservación del recurso suelo y agua mediante un adecuado manejo y uso sustentable de los mismos.



## 2.- ANTECEDENTES

La problemática del manejo del recurso suelo en el país es compleja y multidimensional: Su efecto común está relacionado con la “escasez de agua” para los diferentes uso: consumo humano, abrevaderos de animales, riego, energía, industrias, entre otros (Foster *et al*, 1987).

El aprovechamiento del recurso suelo en el Ecuador, como en la mayoría de los países de América Latina, es marcadamente irracional e ineficiente. Si a esto se agrega la insensata explotación a la que ha sometido los recursos naturales en las últimas décadas, el panorama que se presenta es desolador (García, 2006).

Durante las últimas décadas las diversas presiones ejercidas sobre el medio ambiente han aumentado aceleradamente, produciendo el deterioro gradual de los recursos, en el caso del recurso suelo, se ha llegado en algunas zonas a devastar con ellos, y otras están actualmente en serio peligro. Las evidencias de esta situación se manifiestan en altos índices de contaminación de agua, tasas elevadas de deforestación, acelerados procesos de erosión y acentuación en el régimen de escurrimiento.

El manejo deficiente de los recursos naturales renovables: suelo, agua, vegetación trae consigo, problemas e incertidumbres social, producto de factores desestabilizantes como: la falta de agua en cantidad y calidad, falta de suelos productivos, entre otros. Las cuencas de montaña, generadoras de agua cumplen un papel vital dentro del desarrollo socioeconómico de una población (Escobar, 2003). De aquí la importancia de mantener y/o conservar estos espacios naturales, de aprovechar estos recursos de una manera adecuada y consiente.



### **3.- OBJETIVOS**

#### **3.1 General:**

- Identificar áreas susceptibles a riesgos de erosión y con mayor capacidad de almacenamiento de agua en la subcuenca Malacatos.

#### **3.2 Específico:**

- Describir el tipo de cobertura vegetal representativa de cada una de las áreas de muestreo observadas en la subcuenca Malacatos.
- Estimar el riesgo potencial de erosión a través de la ecuación universal de pérdida del suelo revisa (RUSLE) en la subcuenta Malacatos.
- Identificar las zonas con mayor capacidad de almacenamiento de agua en la subcuenca Malacatos.



## 4.- REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

El marco teórico se presentará en función a las palabras claves del presente trabajo.

---

### 4.1 CUENCA HIDROGRÁFICA

---

Desde el punto de vista de cuenca hidrográfica, una cuenca es toda área drenada por una corriente o sistema de corrientes, cuya agua confluye a un punto de salida, delimitada por una línea divisoria conocida como “parteaguas” (Mozo *et al.*, 1999)

Según Campo, 2006; las cuencas hidrográficas tienen gran importancia, ya que son el espacio geográfico donde interacciona el hombre con el medio ambiente. Todo lo que sucede dentro de los límites de una cuenca es relevante, ya que la disponibilidad, calidad y permanencia de sus recursos naturales dependen del uso y manejo que se les brinde dentro de ella; el agua, suelo, bosques y demás recursos bióticos son insumos esenciales para la vida de numerosas comunidades rurales que obtienen alimentos, bienes y servicios a partir de ellos.

La cuenca hidrológica cuenta de tres partes representadas en la Figura 1, (Cuenca de recepción, garganta y cono de deyección); las mismas que forman un sistema integrado e interconectado y que no pueden existir ni funcionar independientemente “desde el aspecto biofísico”, ya que el enfoque sistémico de cuenca implica ver la diversidad y la unidad de estas tres partes (Muñoz, 2007).

#### **Cuenca de recepción.**

Es la zona conocida comúnmente como cuenca, es la parte alta ubicada hacia arriba de la garganta, formada de las vertientes, en la cuales se precipita y almacena el agua de lluvia, es estas partes altas y montañosas el valor de evapotranspiración potencial es mínimo, lo que la convierte en la zona productora de agua por excelencia.

#### **Garganta.**

La garganta de la cuenca es la zona donde se encuentra las dos vertientes y se abren para dar paso al drenaje formado en la zona de recepción.





### Cono de deyección.

Es la parte más baja de la cuenca donde los escurrimientos superficiales convergen en un punto sobre la corriente principal.



**Figura 1.** Partes de una cuenca

Según Henao, 1998; las características propias de las cuencas, como la forma, relieve, vegetación, uso y aprovechamiento de los recursos naturales, influyen directamente en comportamiento de los escurrimientos superficiales y disponibilidad de agua:

**Forma.** En las cuencas de forma alargada los escurrimientos superficiales fluyen lentamente en comparación con las cuencas redondas en donde el flujo del agua es más rápido.

**Tamaño.** Conforme las cuencas incrementan su tamaño, tienen más capacidad de captar agua y disponer de mayores volúmenes de escurrimientos.

**Relieve.** La forma del relieve influye directamente en el comportamiento de las corrientes superficiales como la velocidad, dirección, longitud y número de arroyos que se originan principalmente en la parte alta de la cuenca.



**Vegetación.** El tipo de vegetación, condición y manejo de la misma en una cuenca, es de vital importancia para la captación, la retención, la infiltración, el almacenamiento y el aprovechamiento del agua de lluvia.

Según Jiménez, 2005; señala que las cuencas hidrográficas cumplen funciones, entre las principales se destacan:

**- La función hidrológica**

Cuando captan el agua de las lluvias almacena y la distribuyen a través de los manantiales y los ríos durante distintos momentos a lo largo del tiempo.

**- La función ecológica**

Provee diversidad de espacios para completar las fases del ciclo hidrológico, además es un lugar para la flora y fauna que conviven con el agua.

**- La función ambiental**

Ayuda en la captura de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), regula la distribución del agua de lluvia durante el invierno, evitando con ello las inundaciones en la parte baja de la cuenca y contribuye a conservar la biodiversidad, la cuenca es un espacio ideal para la implementación de la gestión ambiental.

**- La función socioeconómica**

Cuando suministra recursos naturales para el desarrollo de actividades productivas de las poblaciones que habitan la cuenca.

---

## 4.2 DISPONIBILIDAD DE AGUA

---

La presencia de agua en la naturaleza en cantidad y calidad suficiente es importante para mantener el equilibrio de todos los ecosistemas, especialmente cuando se destina al consumo humano y se vincula con el desarrollo social, económico y ambiental.



Los posibles escenarios sociales demuestran que la carencia de agua puede generar conflictos bien identificables, como el surgimiento de grupos de presión o la invasión desmedida de predios en zonas urbanas y rurales. Aunque esta problemática ya existe en la actualidad (por otras causas) la carencia de agua podría hacer que estos fenómenos cobraran mayor fuerza y llegaran a niveles poco manejables (Foster, *et al.*, 1987).

Según FAO, 1999; una causa significativa de la baja producción y el fracaso del cultivo en la agricultura es la falta de agua en el suelo. Esto se debe a la combinación de una lluvia escasa y a una mala utilización del agua disponible. El manejo de la humedad del suelo es, entonces, un factor clave cuando se trata de mejorar la producción agrícola. Como es poco lo que se puede hacer para incrementar la cantidad o la frecuencia de las precipitaciones, deberíamos enfocarnos al mejoramiento de la captación de lluvia, la disponibilidad de agua en el suelo y la eficiencia de su uso en las tierras de agricultura.

Según Henao, 1998; el suelo desempeña el papel de una serie de cedazos, que permiten la infiltración del agua en él, y en donde parte se retiene dando lugar al almacenamiento y por ende a la disponibilidad de agua, que puede ser absorbida a un ritmo adecuado para permitir el crecimiento normal de las plantas.

La disponibilidad de agua se suele calcular como la diferencia entre los valores de la capacidad de campo y punto de marchitamiento permanente:

### **Capacidad de campo.**

Se define al suelo que no pierde más agua por gravedad, en esta situación, el agua ocupa los poros pequeños y el aire ocupa una gran parte del espacio de los poros grandes (Fuentes, 1998). La cantidad de agua que puede retener un suelo a la capacidad de campo depende, sobre todo, del tamaño de los macroporos, por cuyo motivo depende más de la textura que de la estructura.

### **Punto Marchitez.**

Según Fuentes, 1998; Se determina al momento en que las plantas ya no pueden absorber toda el agua que necesitan y se marchitan irreversiblemente. Al igual que en la



capacidad de campo, el punto de marchitamiento depende más de la textura que de la estructura del suelo.

---

### 4.3 EROSIÓN

---

La erosión del suelo por el agua y el viento han sido un problema constante. Las consecuencias de la erosión del suelo se manifiestan tanto en el lugar donde se produce como fuera del él (erosión difusa). Los efectos *in situ* son particularmente importantes, donde la redistribución y pérdida del suelo, la degradación de su estructura y el arrastre de materia orgánica y nutrientes, llevan a la pérdida de espesor del perfil cultural y al descenso de la fertilidad, acentuando las condiciones de la aridez<sup>2</sup> (Morgan, 1995).

#### Principales formas de erosión

Se identifica dos principales formas de erosión según Miranda, 2007.

##### **Erosión eólica.**

Causado por el viento en terrenos sueltos, localizado en regiones con variaciones altas de temperatura, poca precipitación y predominio de vientos fuertes.

##### **Erosión hídrica.**

La causa fundamental de la erosión, es la acción de la lluvia sobre el suelo, por lo tanto, la cantidad de suelo erosionado depende del efecto combinado del poder de la lluvia para causar erosión y la habilidad del suelo para resistir la acción de la lluvia. Así, el impacto de las gotas de agua en el suelo descubierto, ocasiona el desprendimiento de sus partículas y su remoción por agua de escorrentía. Los factores que intervienen en este proceso son:

- Ø La intensidad y frecuencia de las lluvias
- Ø El relieve del terreno
- Ø La longitud de la pendiente
- Ø La cobertura vegetal

---

<sup>2</sup> Aridez: La aridez es la falta de agua en el suelo y de humedad en el aire que se halla en contacto con él.



- Ø El tipo de suelo
- Ø El manejo del suelo

Según Miranda, 2007; hay tres formas de erosión hídrica:

#### **A. Erosión laminar**

Es el arrastre uniforme y casi imperceptible de delgadas capas de suelo por el agua de escurrimiento. Es la forma de erosión menos notable y al mismo tiempo la más peligrosa: Bajo este proceso erosivo, la capa superficial del suelo comienza a mostrar manchas en las pendientes debido a la pérdida de nutrientes minerales y materia orgánica. Es así que se ha estimado que la erosión laminar de 1 cm de suelo superficial representa la pérdida de 100 m<sup>3</sup>/ha.

#### **B. Erosión en surcos**

Es la erosión que se presenta como consecuencia de una fuerte erosión laminar y el mal uso de herramientas de labranza. Ocurre cuando el agua de escurrimiento se concentra en lugares del terreno, hasta adquirir volúmenes y velocidades capaces de hacer cortes en el suelo y formar canales o surcos que se destacan.

Esta erosión se facilita en terrenos cultivados en el sentido de la pendiente. En pendientes menores al 20 %, estos surcos pueden ser borrados con herramientas de labranza evitando que aumente su tamaño hasta formas cárcavas. Los daños de esta forma de erosión revisten también gravedad, sin embargo, por ser más visibles que la erosión laminar el agricultor le presta atención más oportuna.

#### **C. Erosión en cárcavas**

Se produce después de la erosión laminar y en surco. Se forman cuando el agua de escurrimiento es mayor, produciendo surcos que se unen y forman zanjas de gran tamaño, conocidas como cárcavas generalmente ramificados. Estas zanjas no permiten el empleo de yuntas o maquinarias en la preparación del terreno, ni otros trabajos de campo, tienen en general su origen en las siguientes causas:

- Ø Las depresiones e irregularidades naturales del terreno
- Ø Mayor intensidad y frecuencia de las lluvias



- Ø Falta de corrección oportuna de la erosión en surcos
- Ø Labranza a favor de la pendiente
- Ø Pisoteo continuo del ganado en praderas sobre-pastoreadas.

Según Bergsma, 1998; indica que los procesos de erosión dependen de la precipitación, del material, de la posición relativa en el paisaje (sobreflujo y humedad antecedente), de la forma de la pendiente, del uso y manejo del suelo. Citado en Antezana, 2001.

Según Kirkby & Morgan, 1991; la erosión de los suelos por acción del agua es más activa donde la disolución es menor, donde la precipitación pluvial no se puede infiltrar en el suelo, sino que fluye sobre la superficie y es capaz de arrancar materiales del suelo por medio de la fuerza hidráulica. Las técnicas de predicción de pérdida de suelos se han desarrollado a lo largo de muchos años como resultado de la creciente comprensión del proceso de la erosión, es por ello que describiré el modelo de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelos revisada, denominada (RUSLE).

Donde:

A = Pérdida de suelo promedio anual en [t/ha/año]

R = Factor erosividad de las lluvias en [MJ/ha\*mm/hr]

K = Factor erodabilidad del suelo en [t/ha.MJ\*ha/mm\*hr]

LS = Factor topográfico (función de longitud-inclinación-forma de la pendiente), adimensional.

C = Factor ordenación de los cultivos (cubierta vegetal).

P = Factor de prácticas de conservación (conservación de la estructura del suelo), adimensional

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

Es el potencial erosivo de la lluvia que afecta el proceso de erosión del suelo. La erosión por gotas de lluvia incrementa con la intensidad de la lluvia. Una suave y prolongada lluvia puede tener la misma energía total que una lluvia de corta duración y más intensa.

Según García, 2006; el factor de erosividad de la lluvia (R), propuesto en el índice de erosividad presentado por Wischmeier y Smith, 1978; se define como la suma del



producto de la energía cinética total y la intensidad máxima en treinta minutos por evento. Este producto también se le conoce como índice de Wischmeier.

### **Factor de erodabilidad del suelo ( $K$ )**

Este factor representa la susceptibilidad del suelo a la erosión hídrica. El factor ( $K$ ) representa el efecto de las propiedades y de las características del perfil en la pérdida de suelo. Su valor depende del contenido de materia orgánica, textura superficial, estructura del suelo y permeabilidad.

Suelos de textura fina con alto contenido de arcilla tienen bajos valores de ( $K$ ) (0.05-0.15), porque ellos son resistentes al desprendimiento.

Suelos de textura gruesa tales como suelos arenosos, tiene valores bajos de ( $K$ ) (0.05-0.2), debido al bajo escurrimiento, aunque estos suelos son fácilmente desprendibles.

Suelos de textura mediana (franco limoso) tienen valores de ( $K$ ) moderados (0.25-0.4), porque son moderadamente susceptibles al desprendimiento y producen moderados escurrimientos (Mannaerts, 1999)

### **Factor de longitud y grado de la pendiente ( $LS$ )**

El efecto de la topografía sobre la erosión está representado por los factores longitud ( $L$ ) y grado de pendiente ( $S$ ). La longitud ( $L$ ) se define como la distancia desde el punto de origen de un escurrimiento hasta el punto donde decrece la pendiente o grado donde ocurre el depósito, o bien, hasta el punto donde el escurrimiento encuentra un canal de salida bien definido. Por su parte, el grado de erosión también depende de la pendiente, por lo que, ambos factores se pueden unir en uno solo a través de la ecuación adimensional. Para su cálculo se utiliza la ecuación establecida por Wischmeier & Smith 1957 & 1965; citado en García, 2006.

El resultado de erosión potencial se los puede obtener multiplicando los valores estimados de ( $R$ ,  $K$  Y  $LS$ ), estos producto de factores nos permitirá estimar la erosión potencial ( $EP$ ) correspondiente al estudio de la subcuenca Malacatos (Renard, 1997).



---

#### 4.4 FÍSICA DEL SUELO

---

La física de suelos estudia al conjunto de factores y procesos físicos que ocurren dentro del suelo y en su superficie, que son importantes para el crecimiento de las plantas, el manejo de suelo y agua y otras actividades que se llevan a cabo en los suelos. Hasta ahora los estudios en física de suelos han incluido temas relacionados con la estructura del suelo, con la retención y movimiento de agua en el suelo en el campo, con la mecánica de suelos y con la salinidad de suelos, la mayoría de ellos referidos a propiedades físicas de los suelos como medio para el crecimiento de las plantas, incluyendo aquellas que afectan el desarrollo de las raíces y la utilización de agua del suelo por las plantas (Pla, 2003)

El suelo es un recurso natural considerado como no renovable debido a lo difícil y costoso que resulta recuperarlo. En muchas partes presenta procesos de degradación que inician con la pérdida de cubierta vegetal ocasionado por muy diversos factores económicos y sociales, y que continúa con su erosión, la pérdida de fertilidad, la compactación, lo que afecta de manera importante la disponibilidad y calidad del agua y en ocasiones la seguridad humana debido a derrumbes, inundaciones y otros fenómenos (Seoáñez, 1998).

Según la FAO, 1994; señala que una de las causas principales de la degradación de los suelos en América Latina es sin dudas, la aplicación de técnicas de labranzas inadecuadas, con el consiguiente deterioro de las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos, la disminución de los rendimientos agrícolas y más importantes aún, el deterioro del medio ambiente.

##### **Propiedades físicas del suelo**

##### **Textura.**

La textura de un suelo se refiere a su composición en tamaños de las partículas minerales que lo componen, lo que tiene influencia sobre diversas características





importantes, incluyendo la velocidad de infiltración<sup>3</sup> y la capacidad de retención de agua disponible (Henao, 1998)

Según Fuentes, 1998; la textura de un suelo hace referencia a la porción relativa de arena, lino y arcilla que contienen, clasificando los suelos según predomine cada uno de los distintos componentes de arena, arcilla y limo.

Según Plaster, 2000; la arena, es la fracción más grande, está compuesta principalmente de granos de cuarzo meteorizados, siendo areniscos al tacto, los mismos que no se pegan los unos a otros, la misma que favorece la infiltración el agua; por otro lado, grandes cantidades de arena disminuyen la capacidad del suelo para retener agua y nutrientes.

El limo es la fracción de suelo de tamaño medio, son suaves o como el polvo al tacto. Al igual que la arena no se unen los unos con los otros; teniendo mejor capacidad para retener grandes cantidades de agua (Plaster, 2000).

La arcilla, es la fracción de suelo más pequeña, la arcilla es el resultado de reacciones químicas entre minerales meteorizados para formar partículas diminutas de nuevos minerales. Estos nuevos minerales pueden unir nutrientes químicamente a sus superficies, reteniendo los nutrientes de la planta en el suelo (Plaster, 2000).

### **Materia orgánica.**

Según Seoáñez, 1998; la materia orgánica de los suelos (MOS) está compuesta por sustancias carbonadas orgánicas, y se encuentran desde materiales vegetales frescos sin descomponer hasta cadenas carbonadas muy transformadas y estables como los ácidos húmicos; que provienen de restos vegetales, raíces de plantas, restos animales (macro, meso y microfauna), bacterias y hongos; en el que la adición de esta materia orgánica, supone un refuerzo importante en los suelos degradados, ya que modifica, mejorando en parte las características físicas y químicas. A diferencia de Plaster 2000, que considera cinco factores principales que afectan directamente en la calidad de materia orgánica del suelo: vegetación, clima, textura del suelo, drenaje y laboreo.

---

<sup>3</sup> Infiltración: Proporción en la que el agua entra en el suelo.



### **Densidad aparente.**

Se refiere a la densidad de un suelo tal como es, incluyendo el volumen ocupado por los poros. Es igual al peso de una muestra de suelo seco dividido por el volumen de la misma (Fuentes, 1998).

### **Estructura.**

Según Fuentes, 1998; se llama estructura de un suelo a la disposición de sus partículas para formar otras unidades de mayor tamaño, llamados agregados.

Es distinta a su textura, tanto la textura como la estructura determinan el espacio de poros para la circulación de aire y agua, resistencia a la erosión, soltura, facilidad para ararse y penetración de las raíces. Aunque la estructura está relacionada a los minerales en el suelo y no cambia con las actividades agrícolas, la estructura se puede mejorar o destruir fácilmente con la selección y duración de prácticas agrícolas (Sullivan, 2007).

### **Permeabilidad.**

Según Plaster, 2000; la permeabilidad es la facilidad con que el aire, el agua y las raíces se mueven a través del suelo.

La permeabilidad no es una propiedad del suelo que pueda ser medida directamente, sin embargo, el movimiento del agua puede medirse. Dependiendo en parte de la textura, así, en un suelo muy permeable el agua se infiltra rápidamente y la aireación mantiene un buen suministro de oxígeno y las raíces crecen a través del suelo permeable con facilidad.

---

## **4.5 SIG**

---

Un sistema de información geográfica es una herramienta de software que permite capturar, almacenar, organizar, presentar y realizar análisis sobre información geográficamente referenciada, es decir que posee coordenadas terrestres y que surgió como resultado de la necesidad de disponer rápidamente de información para resolver problemas y contestar a preguntas de modo inmediato; así como para dar explicaciones y simulación de eventos (Vera, 2000).



Según Moreno, 2006; los SIG son un sistema tal, capaz de dar el servicio que se espera de él, debe conjugar cuatro componentes: una serie de dispositivos (máquina electrónica), un programa (SIG), un conjunto de datos geográficos (la base de datos espaciales), y el conocimiento en el manejo de los tres elementos previos. Cabe recalcar, más allá de la simple aplicación informática, el programa nos ofrece un modelo de la realidad sobre el territorio.

Los sistemas de información geográfica funcionan con dos tipos diferentes de información: el "modelo raster" y el "modelo vector" (Figura 2) (Gutiérrez, 2000)

En el modelo vector, es aquel donde la información sobre puntos, líneas y polígonos se codifica y almacena como una colección de coordenadas  $(x,y)$ . La ubicación de una característica puntual, tal como una perforación, pueden describirse con un sólo punto  $(x,y)$ . Las características lineales, tales como calles y ríos, pueden almacenarse como un conjunto de puntos de coordenadas  $(x,y)$ . Las características poligonales, tales como cuencas hídricas, pueden almacenarse como un circuito cerrado de coordenadas; a diferencia del modelo raster que es extremadamente útil para describir características discretas, pero menos útil para describir características de variación continua.

El modelo raster ha evolucionado para modelar tales características continuas. Una imagen raster comprende una colección de celdas de una grilla más como un mapa o una figura escaneada. Ambos modelos para almacenar datos geográficos tienen ventajas y desventajas únicas y los SIG modernos pueden manejar ambos tipos.

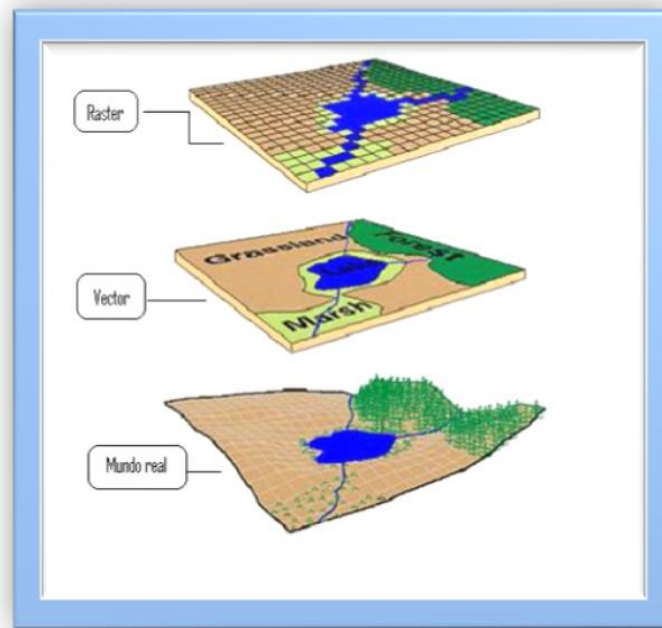


Figura 2. Raster, vector, mundo real

### Interpolación

La interpolación se puede definir como un procedimiento que permite calcular el valor de una variable en una posición del espacio (punto no muestral), conociendo los valores de esa variable en otras posiciones del espacio (Moreno, 2006).

Los métodos de interpolación son muy numerosos y variados, es por ello que describiré el de *la media ponderada por el inverso de la distancia*, donde asume que los valores de una variable que se encuentran más cerca son más parecidos que las que están más lejos. Los valores de los lugares más próximos al que se va a predecir tendrá más influencia y por lo tanto más peso que los que están más lejos. La fórmula general es:

**Ecuación 1.** Ecuación para predecir un valor

$$Z(S_0) = \sum_{i=1}^N \lambda * Z(S_i)$$

Donde

$Z(S_0)$  = valor que se predice para el lugar

$N$  = es el número de puntos muestrales alrededor del lugar que se va predecir

$\lambda_i$  = es el peso asignado a cada punto muestral que se va utilizar

$Z(S_i)$  es el valor observado del lugar



## 5.- ÁREA DE ESTUDIO

### 5.1 Ubicación Política

La zona de estudio está ubicada al sur-este del cantón Loja (Figura 3). En referencia a la Reserva de la Biósfera Podocarpus - Cónдор, la subcuenca Malacatos en estudio ocupa el sector nor-oeste.

### 5.2 Ubicación Geográfica

La Subcuenca Malacatos, geográficamente está limitada por los *parteaguas* que la separan de la siguiente manera:

Al norte con el filo la Cueva de León

Al sur con el Nudo de Cajanuma

Al este con el ramal de la Cordillera Oriental de los Andes

Al oeste con la Estribación Occidental de la cuenca del Malacatos.

La subcuenca Malacatos se encuentra dentro de los siguientes límites:

Latitud Sur: 4° 1' 48,4" - 4° 6' 44,4"

Latitud Oeste: 79° 9' 4,7" - 79° 12' 10,3"



**Figura 3.** Localización del área de estudio.

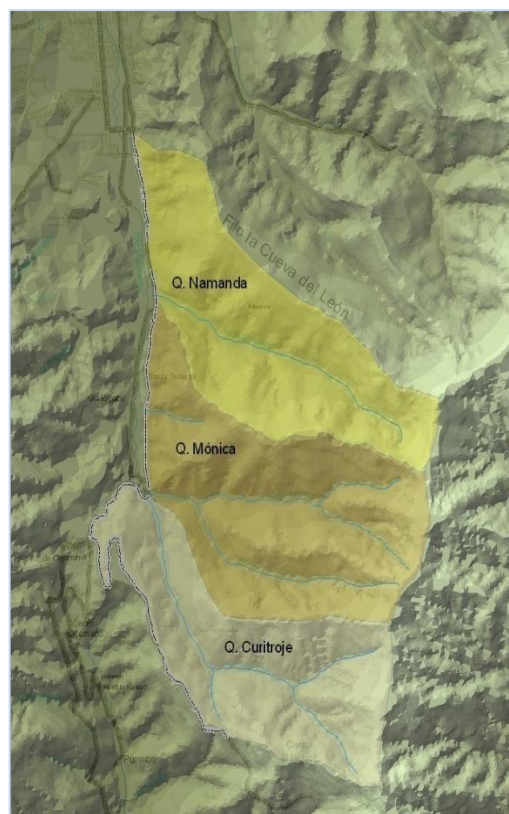


### 5.3 Extensión, Clima y Ecología

Las quebradas que la componen son Namanda, Mónica y Curitroje (Tabla 1), cuenta con una superficie de 2933,75 ha, el perímetro total del área de estudio es de 26,80 km., sus rangos altitudinales van desde los 2160 hasta los 3.400 ms.n.m.; una pendiente de 16 %; así mismo la temperatura media anual está entre los 12 y 18 °C, una precipitación media anual entre 900 y 1600 mm. Se conoce que en las quebradas Namanda y Mónica no existe aún un punto de captación de agua, mientras que en la quebradas Curitroje es de vital importancia, ya que es una de las fuentes abastecedoras que provee del servicio de agua potable a los habitantes de los barrios occidentales de la ciudad de Loja con un caudal de 46 l/s, en época de estiaje (Naturaleza & Cultura, 2006); cabe mencionar que ésta captación sirve como alterna de las captaciones de las microcuenca Shucos.

**Tabla 1.** Área de cada una de las quebradas de la subcuenca Malacatos.

CARACTERÍSTICAS GEOMORFOLÓGICAS DE LA SUBCUENCA MALACATOS		
NOMBRE	ÁREA m <sup>2</sup>	ÁREA ha
Namanda	9401910.054	940,19
Mónica	11224379.414	1122,44
Curitroje	8760715.863	876,07
TOTAL		2933,75





Según Naturaleza & Cultura, 2006; dentro de la subcuenca Malacatos cada una de las quebradas poseen diferentes características que a continuación se describen:

#### Namanda

En la quebrada “Namanda” encontramos valles coluvio aluviales, es decir zonas relativamente planas en donde se desarrollan actividades agropecuarias. El resto de área son unidades colinadas y de montaña.

#### Mónica

En esta quebrada “Mónica” posee unidades ecológicas de alta montaña, los relieves colinados y sus respectivas coberturas vegetales representan un bajo porcentaje de unidades en la cuenca.

#### Curitroje

En esta quebrada se encuentra en su mayoría paisajes montañosos. Los paisajes colinados representan un bajo porcentaje en total, considerándose también como una cuenca de alta montaña.

Basándonos en la clasificación de Baquero *et al.*, 2004; las zonas de vida que encontramos en la zona es:

#### Bosque de Neblina Montano (bnm)

Al igual que el bosque de neblina de la cordillera occidental, este tipo de bosque se caracteriza por la alta presencia de musgo, orquídeas, helechos y bromelias siendo el lugar donde probablemente mayor abundancia y diversidad existe. Las especies utilizadas para determinar este tipo de formación vegetal son: *Huperzia loxensis*, especie nativa de los Andes presente en las provincias de Loja y Zamora Chimchipe, con una temperatura mínima anual de 10 °C y máxima de 21 °C, en un rango altitudinal que varía entre los 2000 y 3500 ms.n.m. y con una precipitación anual de 1077 mm.

#### Bosque Siempreverde Montano Alto (Bsvma)

Este bosque es similar al bosque de neblina en cuanto a la presencia de musgo y epífitas; se diferencia por la cantidad de musgo presente en el suelo y por la forma de



crecimiento de los árboles, los que se ramifican desde la base y tienden a crecer en forma inclinada influenciados por las características físicas y ambientales de esta zona. Este tipo de bosque incluye el bosque de transición entre el bosque montano alto y el páramo, las especies utilizadas para identificar este tipo de formación es *Symplocos fuscata* especie nativa de los Andes presente en las provincias de Loja y Zamora Chumpe, con una temperatura mínima anual de 17 °C y máxima de 27 °C, en un rango altitudinal que varía entre los 2500 y 3500 ms.n.m. y con una precipitación anual de 2138 mm.

#### Páramo Arbustivo (Pa)

Este tipo de vegetación está conformado por arbustos y paja; la paja es remplazada por arbustos, hierbas de varios tipos, plantas en roseta y en las partes más húmedas por almohadillas, las especies utilizadas para identificar este tipo de formación es *Valeriana convallarioides* especie nativa de los Andes presente en la provincia de Loja con una temperatura mínima anual de 8 °C y máxima de 17 °C, en un rango altitudinal que varía entre los 2000 y 4000 ms.n.m. y con una precipitación anual de 811 mm.

## 6.- METODOLOGÍA

La metodología se la presentará en relación a las siguientes etapas: Levantamiento de información; Fase de campo & Laboratorio y Análisis de datos.

### 6.1 Levantamiento de información

Esta primera etapa consistió en recopilar toda la información posible (información primaria y secundaria) sobre la subcuenca Malacatos, así como información cartográfica del Instituto Geográfico Militar del Ecuador (IGM) por medio de la U.C.G<sup>4</sup>, donde, el mapa base de la hoya de Loja constaba de: vías, quebradas, ríos, puntos altos, curvas de nivel, asentamientos humanos.

Seguidamente se delimitó el área de estudio basándonos en una carta topográfica del IGM de 1981, a escala 1:50000, luego se redujo la escala de su grilla, a 1:25000 siguiendo las sugerencias del documento citado por el Ministerio de Agricultura, 2002;

---

<sup>4</sup> U.C.G: Unidad Civil Geominera





considerando un nivel de estudio detallado el cual sirve para obtener información de las características y distribución de los suelos, además de facilitar la planificación de una agricultura intensiva, obras de ingeniería, utilización agroforestal y recreacional.

Para la delimitación de la subcuenca Malacatos, la misma que abarcan las quebradas Namanda, Mónica y Curitroje que confluyen en la zona sureste de la ciudad de Loja, se utilizó el software Arcview 3.2; ésta herramienta nos permitió obtener 31 cuadrículas<sup>5</sup> y cada una de 1 km<sup>2</sup>, fueron etiquetadas con códigos de acuerdo el área de muestreo (Nam, Mon, Cur), considerando las tres primeras letras del nombre de cada quebrada, como se indica en la (Figura 4).

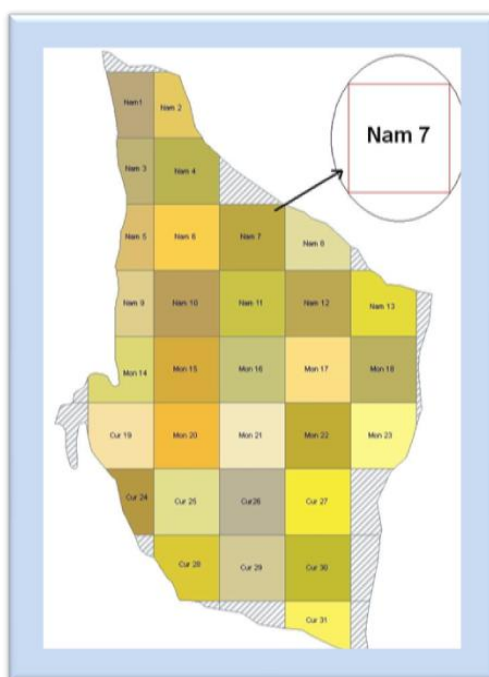


Figura 4. Área de estudio por cuadrículas

## 6.2 Fase de campo y laboratorio

Para la toma de muestras *in situ*, se procedió a elaborar una ficha de campo (Anexo 1) en la que consta los datos esenciales para su posterior interpretación y descripción, para la elaboración de la ficha se tomó algunas sugerencias nombradas en la cuarta edición del documento: *Guidelines for soil description*, elaborado por la FAO, 2006.

<sup>5</sup> Cuadrícula: Cada una representa un área de estudio; considerando que en cada cuadrícula debe constar más del 70 % del área total para ser considerada.



Dentro del área de interés fue muy importante identificar los sectores que presentan condiciones de paisaje (pendiente, exposición, drenaje, cambios de vegetación, etc.) así, para la toma de las muestras había que evitar siempre los lugares, con posibles influencias de caminos, deyecciones, deslizamientos, vertientes de agua, etc., para evitar alteraciones de las muestras que influyan en los resultados finales.

Considerando todos estos criterios, procedimos a seguir la metodología del muestreo sistemático o de rejilla (Carter, 1993). Que consiste en un método mediante el cual los puntos de muestreo seleccionados se ubican a distancias uniformes entre sí, a fin de brindar total cobertura a una población específica del suelo. Se la considera una técnica clásica de estimación de superficies, por ser un procedimiento de selección de la muestra especialmente fácil de aplicar sobre un mapa o fotografía aérea.

Una vez identificadas las zonas y la metodología a seguir, nos dispusimos a conseguir todo el equipo y los materiales que se necesitarían para la realización de este estudio así:

- Material y equipo de campo: cilindro de 5cm de diámetro, combo, GPS, mapa de la zona de muestreo, fundas plásticas etiquetadas, plástico de 1 m<sup>2</sup>, clinómetro, alfiler, navaja, cilindro de doble anillo, entre otros.
- Material para registrar datos: Libreta de campo, hojas de registro, cámara fotográfica.
- Programas Informáticos: Para la elaboración de mapas se utilizó Arcview 3.2, ArcGis 9.0

Con la ficha técnica y con la ayuda de un GPS, se ubicó cada punto de muestreo y se procedió a tomar las muestras de suelo mineral, por cada una de las cuadrículas ya establecidas anteriormente, siguiendo la secuencia de la Figura 5.

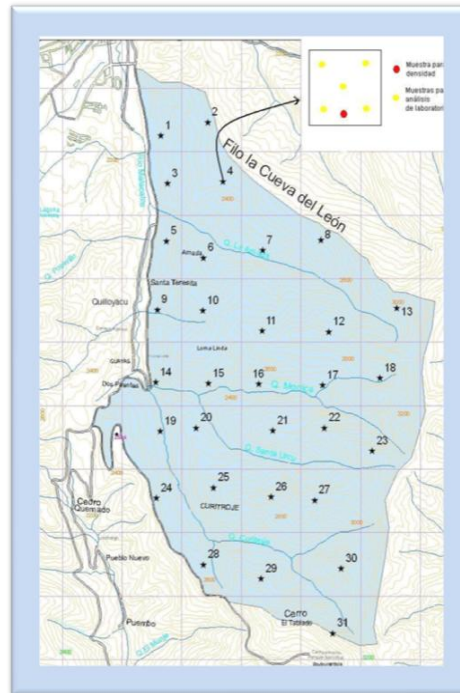


1. Se identifica la zona para toma de muestra.
2. Se registra los datos acerca de la zona de estudio.
3. Se toma las muestras con la ayuda del barreno.
4. Se homogeniza la muestra y se guarda.

**Figura 5.** Esquema para la toma de muestras en cada una de las áreas de muestreo

Con lo que respecta a las muestras, se obtuvieron dos ejemplares por cada una de las cuadrículas, a una profundidad de 20 cm, la misma que estaba señalada en el barreno, una sola muestra se destina para los cálculos y análisis concernientes a humedad relativa y densidad aparente del suelo y la segunda que sería una muestra homogenizada compuesta por cinco submuestras con un peso total aproximado de un kilo, que serviría para los análisis respectivos en el laboratorio de: materia orgánica, capacidad de campo, textura, punto de marchitez. Cabe recalcar que las cinco submuestras estaban inmersas dentro de cada cuadrante, como se indica en la Figura 6.

A las muestras, se las colocó en fundas plásticas limpias y resistentes con el fin de evitar que se contamine la muestra, en las fundas se etiquetaron sus respectivos códigos y fechas. En la hoja de campo se anotaron toda la información y observaciones necesarias a considerar de acuerdo al área muestreada.



**Figura 6.** Diseño sistemático para toma de muestras

Finalmente las muestras fueron llevadas al laboratorio, para secarlas, tamizarlas y usarlas en los diferentes ensayos que requería el estudio; el objetivo del tratamiento que se realizó a cada una de las muestras, era para homogenizar y preparar el suelo para ser usado en los análisis físico-químicos. Todas las muestras se pesaron en el momento de llegar del campo, así como después de pasadas las 24 horas que se las dejaba secar en una estufa a 40 °C con el objetivo de determinar la densidad del suelo.

### 6.3 Análisis de datos

Con la finalidad de poder describir el tipo de cobertura vegetal dentro de la subcuenca Malacatos, se procedió a ingresar a las 31 cuadrículas que la conforman al área de estudio; se tomaron datos de la vegetación, como el tipo y las condiciones en las que se encuentra la subcuenca, permitiéndonos en lo posterior poder analizar la zona (Anexo 2), así mismo nos ayudaría a entender y conocer las áreas cubiertas por los diferentes tipos de vegetación. Estos datos se encuentran dentro de la tabla de campo (Anexo 12), cabe mencionar que la formación vegetal considerada, estuvo basada de acuerdo al estrato dominante que se encuentra en cada una de las cuadrículas que conforman el área de la subcuenca Malacatos.



Para estimar la condición hidrológica de cada cuadrícula, se lo realizó de acuerdo al grado de conservación utilizando la tabla 2, considerada dentro de la ficha de campo, para poder determinar el tipo y la condición de la vegetación de la subcuenca Malacatos.

**Tabla 2.** Parámetros para determinar el tipo y condición de la vegetación

Condición de Vegetación:	
Buena < 75%	Buena
Regular 50 – 75%	Regular
Mala > de 50%	Mala
Tipo de Vegetación Existente	
Pastizal	
Sucesión	
Bosque Montano	
Páramo	

**Fuente:** Villalobos, 2005.

Para estimar el riesgo potencial de erosión a través de la ecuación universal de pérdida del suelo revisada (RUSLE) en la subcuenta Malacatos se consideró:

### **Factor de erosividad de la lluvia (R)**

El factor de erosividad 'R' =  $EI_{30}$  es difícil de obtener debido a que la energía cinética 'E' y la máxima intensidad  $I_{30}$  de las tormentas individuales requieren ser analizados de registros de lluvias suficientemente de muchos años. En muchos países y particularmente en América Latina no se dispone de estos registros; por otra parte existen pocas redes meteorológicas y distribuidas irregularmente, por lo que limita el calcular 'R'.

El cálculo de la energía cinética requiere de la intensidad de la lluvia y esta última, de los registros pluviográficos, los cuales no se encuentran disponibles. Estas limitaciones han llevado a relacionar la erosividad de la lluvia con otros parámetros que puedan ser determinados con menos contratiempos como lo es: el Índice de Fournier Modificado.

Arnoldus, 1980; modificó el Índice Fournier (IF), considerando las cantidades de lluvia de todos los meses del año y no solo la del mes más húmedo, así, llegando a encontrar



numerosas relaciones entre el IFM<sup>6</sup> y el factor 'R' de erosividad de la lluvia. No obstante, este índice ha sido utilizado en muchos trabajos de análisis de riesgo de erosión y estimación de pérdidas de suelo arrojando buenos resultados, por lo que hemos decidido utilizarlo.

Así mismo podemos encontrar de acuerdo a la (tabla 3) la clasificación del grado de afectación de la lluvia de acuerdo a las cantidades que se han precipitado en un periodo.

**Ecuación 2.** Índice de Fournier Modificado

$$IFM = \sum_{i=1}^{12} \frac{p^2}{P}$$

Donde:

p es la cantidad de lluvia mensual

P es la cantidad de lluvia anual

**Tabla 3.** Clasificación del Índice de Fournier Modificado

IFM rango	Descripción
<60	Muy bajo
60 – 90	Bajo
90 – 120	Moderado
120 – 160	Alto
> 160	Muy alto

**Fuente:** Índice de Fournier Modificado

Una vez calculado el índice que nos permitió estimar el grado de afectación que tiene la lluvia con el suelo, procedimos a crear un mapa de isoyetas, utilizando los datos de las precipitaciones anuales de los años 1998, 2001 y 2005, proporcionados por las estaciones meteorológicas de la "Argelia" M - 033 a 2165 ms.n.m. y la estación meteorológica "Cajanuma" a 3400 ms.n.m., donde pudimos hacer uso de los valores mensuales (mm) de los diferentes años que se nos fue facilitado (Anexo 4).

---

<sup>6</sup> IFM: índice de Fournier Modificado



### Factor de erodabilidad del suelo (K)

El factor de erodabilidad del suelo, es una descripción en cantidad de la erosión que se puede producir en un determinado suelo, para ello es necesario conocer la textura, contenido de materia orgánica, estructura y permeabilidad del suelo a estudiarse.

### Textura del suelo

Una vez preparadas las muestras en laboratorio, se procedió a aplicar el método de Bouyoucos o del Hidrómetro obteniendo diferentes valores correspondientes a la granulometría (Anexo 3). Con los resultados obtenidos del método aplicado y con la ayuda del triángulo textural (figura 7) se pudo determinar el suelo en estudio.

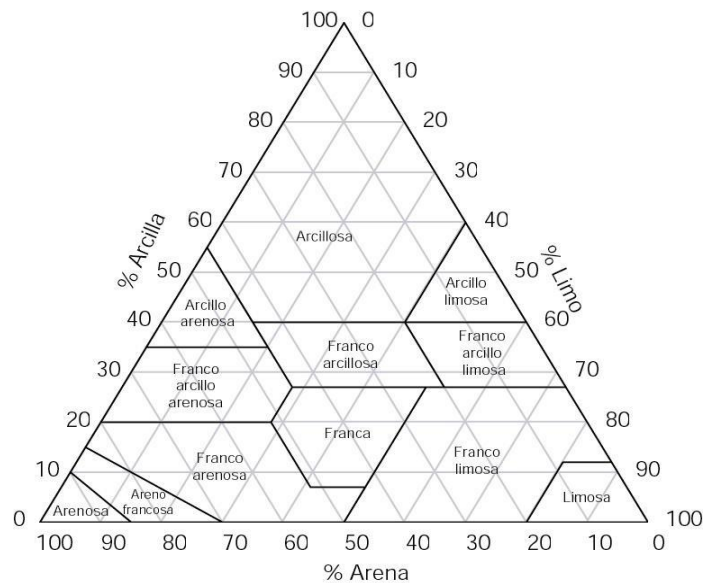


Figura 7. Triángulo textural según la clasificación del USDA

Una vez obtenidas las clases texturales existentes dentro de la subcuenca y clasificadas de acuerdo a la tabla 4, se procedió a interpolar mediante el método **(IDW)**<sup>7</sup>, el cual nos permitió en lo posterior identificar las zonas para los ensayos de permeabilidad.

<sup>7</sup> **IDW**: Media ponderada por el inverso de la distancia, denominada en inglés inverse distance weighted (IDW)



**Tabla 4.** Valores de las clases texturales.

Textura	clasificación
Areno francoso	1
Franco	2
Franco arcillo arenoso	3
Franco arcilloso	4
Franco arenoso	5

**Fuente:** el Autor

### **Materia orgánica**

Para determinar el porcentaje de materia orgánica de suelo mineral de las 31 áreas de estudio, se utilizó el método propuesto por Walkley & Black, 1934; los resultados los podemos encontrar en el Anexo 5.

### **Estructura del suelo**

Para poder obtener el valor de la estructura del suelo (s), nos basamos en estudios previamente realizados y con la ayuda de la Tabla 5, la que nos permitió valorar a las diferentes clases texturales y poder obtener el valor final de (K).

**Tabla 5.** Código según el tipo de estructura

Estructura del suelo	Código
Muy fina granular (< 1mm)	1
Fina granular (1-2 mm)	2
Media gruesa granular (5-10mm)	3
Blocosa, laminar, masiva	4

**Fuente:** Iñiguez 1999.





## Permeabilidad

Se utilizó el método del infiltrómetro de doble anillo (ASTM 3385), al mismo que se le realizó una reducción de escala al 50 %, para un mejor trabajo en el campo (Figura 8).

Para realizar los ensayos de infiltración, fue necesario primeramente contar con el mapa de clases texturales dentro de la subcuenca, las zonas para el ensayo se las identificó de forma aleatoria considerando una cuadrícula por cada clase textural, los resultados obtenidos fueron utilizados para el resto de clases texturales previamente identificados (Anexo 6).



**Figura 8.** Representación del infiltrómetro sobre el terreno

Con los datos obtenidos, se registró en la Tabla 6, de permeabilidad y se pudo obtener el valor (p).

**Tabla 6.** Códigos de permeabilidad

Permeabilidad	Código
Muy lenta (>0.12 cm/h)	6
Lenta a moderadamente lenta (0.12-2.0 cm/h)	5
Moderada (2.0-6.0 cm/h)	4
Moderadamente rápido (6.5-12.5 cm/h)	3
Rápida (12.5-25.0 cm/h)	2
Muy rápida (<25.0 cm/h)	1

**Fuente:** García 2006.



Una vez calculados los valores de:

**M**= Producto de las fracciones del tamaño de las partículas primarias (% limo + % arena)\*(100-% arcilla)

**MO**= Porcentaje de materia orgánica

**e**= Clasificación de la estructura del suelo

**p**= Clasificación de la permeabilidad

Se procedió a utilizar la ecuación 3 del nomograma de Wischmeier citado por Mannaerts, 1999; cuyos valores finales se los puede encontrar en el Anexo 7.

**Ecuación 3.** Ecuación de erodabilidad

$$K = \frac{2.1 * 10^{-4} * (12 - OM) * M^{1.14} + 3.25(s - 2) + 2.5(p - 3)}{100} * \frac{1}{7.594}$$

**Factor de longitud y grado de la pendiente (LS)**

El factor (LS) integra la pendiente media de la longitud de la ladera, además considera el efecto de la topografía sobre la erosión. La pendiente (S) refleja la influencia de la gradiente de la pendiente en la erosión ya que el potencial de erosión incrementa con la pendiente, la longitud (L) se define como la distancia horizontal entre el punto donde inicia el escurrimiento hasta el punto donde decrece la pendiente al grado de producir la sedimentación o hasta el punto donde el escurrimiento encuentra un curso bien definido.

Para calcular la longitud de la pendiente se utilizó la expresión propuesta por (Wischmeier y Smith, 1965 & 1957) citada en García, 2006; considerando las ecuaciones (4, 5, 6) así mismo podemos encontrar los valores resultantes en el Anexo 8.

**Ecuación 4.** Factor de longitud de la pendiente (Wischmeier y Smith, 1965)

$$L = \left( \frac{\lambda}{22.13} \right)^m$$

Donde:

L= Factor de longitud de pendiente



$\lambda$ = longitud de la pendiente en metros

$m$ = Un exponente en función de la pendiente

El exponente  $m$  puede ser calculado en función de la pendiente en porcentaje ( $s$ ) mediante la fórmula:

**Ecuación 5.** Exponente en función de la pendiente

$$m = 0.1342 * \ln(s) + 0,192$$

Donde

$s$ = Ángulo de gradiente porcentaje

La gradiente del terreno se calcula mediante la siguiente ecuación propuesta por (Wischmeier y Smith, 1957) citado en García, 2006.

**Ecuación 6.** Factores de gradiente del terreno (Wischmeier y Smith, 1957)

$$S = (10.80 * \text{Sen}\theta) + 0.03 \quad s < 9\%$$

$$S = 16.80 * \text{Sen}\theta - 0.5 \quad s \geq 9\%$$

Donde

$S$ = Factor de gradiente del terreno

$\theta$ = Pendiente en grados sexagesimales

Para transformar la gradiente a grados sexagesimales se utiliza:

$$\theta = \text{tg}^{-1} 0,35 = 19,29$$

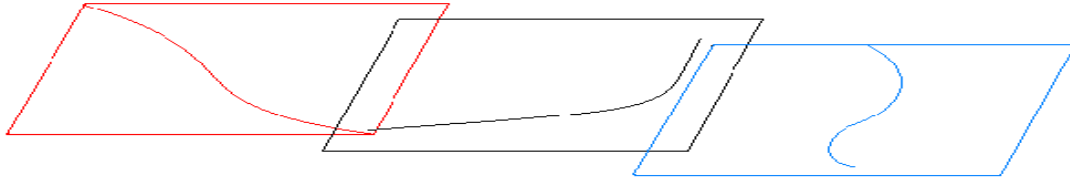
Finalmente se multiplica los dos factores  $L$  &  $S$  (ecuaciones 4 y 6) y se obtiene ( $LS$ ),

Una vez que se obtuvo los valores finales de los tres factores: Erosividad, erodabilidad y longitud & grado de la pendiente; se procede a la digitalización y construcción de los mapas, obteniendo modelos vector como producto final (Figura 9).

En cuanto al álgebra de mapas se pudo trabajar con los dos tipos de información como son el modelo raster y el modelo vector, con el fin de representar los valores dentro del



área de estudio y a su vez, que nos permita identificar las zonas que tienen mayor o menor vulnerabilidad ante los factores considerados.



**Figura 9.** Superposición de mapas.

Para lograr identificar las zonas con mayor capacidad de almacenamiento de agua en la subcuenca Malacatos, se procedió a calcular los valores que son necesarios, considerando la ecuación 7, propuesta por (Amézquita, 1995; Hillel, 1998) citado en el Acta Agronómica, 2007; cuyos valores finales los podemos encontrar en el Anexo 9.

**Ecuación 7.** Lámina potencialmente acumulable de agua

$$LAA = \frac{(Cc - Pmp)}{100} * \frac{Da}{D_{H_2O}} * \text{profundidad}$$

Donde:

**LAA**= Lámina potencialmente almacenable (mm).

**CC** = Capacidad de campo (%).

**PMP** = Punto de marchitez permanente (%).

**Da** = Densidad aparente (g/cm<sup>3</sup>)

**DH<sub>2</sub>O** = Densidad del agua a 20° C (g/cm<sup>3</sup>)

**Profundidad** = Profundidad del horizonte evaluado (mm).

Para determinar indirectamente la capacidad de campo (*Cc*) y punto de marchitez (*Pmp*) se aplicó las ecuaciones (8 y 9) propuesta por Fuentes, 1998; que nos permitió obtener valores aproximados considerando la composición granulométrica.

**Ecuación 8.** Capacidad de campo

$$Cc = 0,48 Ac + 0,162 L + 0,023 Ar + 2,62 \quad \text{Fórmula de Peele}$$



**Ecuación 9.** Punto de marchitez permanente

$$Pmp = 0,302 Ac + 0,102 L + 0,0147 Ar \quad \text{Fórmula de Briggs}$$

Las siguientes ecuaciones fueron aplicadas, con la finalidad de obtener los datos de humedad, densidad relativa y aparente, que son fundamentales para la obtención de otros parámetros, los mismos que nos permitieron llegar a la culminación del estudio.

**Ecuación 10.** Fórmulas para cálculos de humedad y densidad aparente

Fórmula para humedad
$\% \text{ de humedad} = \frac{\text{peso húmedo} - \text{peso seco}}{\text{peso seco}} * 100$
Fórmula para obtener la densidad
Área del cilindro $A = \frac{\pi}{4} * (d^2)$ $A = \frac{3.1416}{4} * (5.4^2) \quad A = 22.90cm^2$
Volumen del cilindro con profundidad de 20 cm $V = A * L$ $V = 20cm * 22.90cm^2 \quad V = 458cm^3$
Fórmula para densidad aparente
$Da = \frac{\text{peso de suelo seco } g}{\text{volumen de suelo seco } cm^3}$

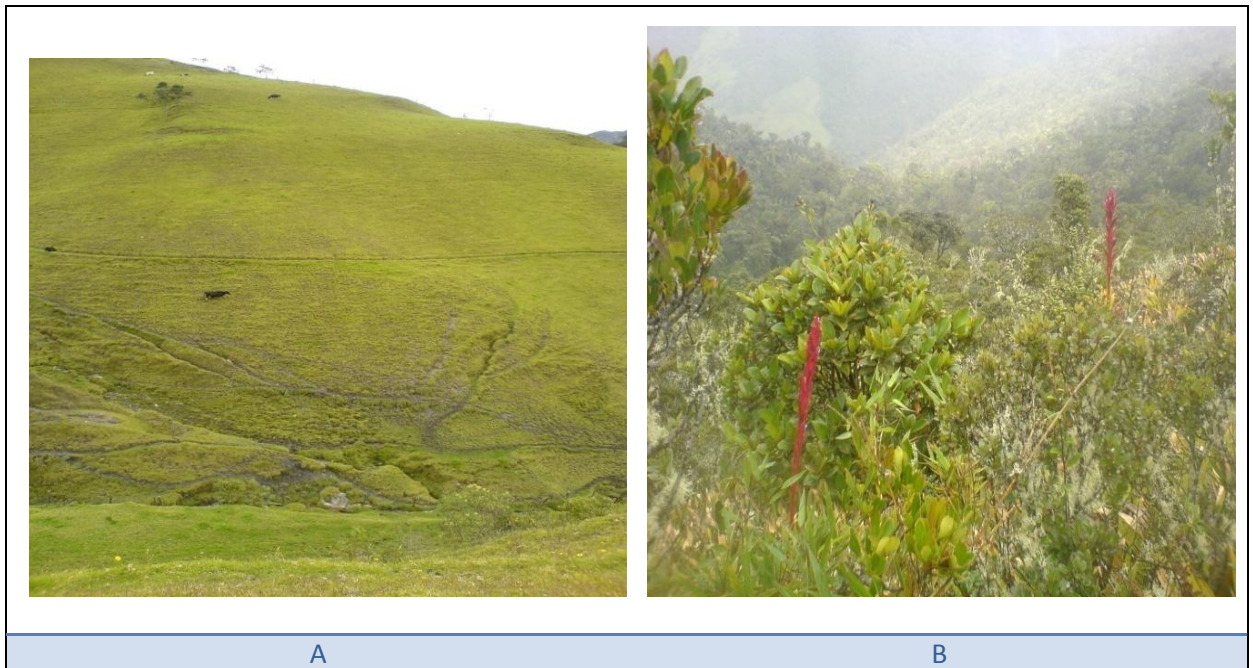


## 7.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La obtención de los resultados se efectuó en base a la información de los estudios básicos, visitas de campo, el análisis digital de las imágenes obtenidas con el software ArcGis 9,2. Estos resultados permitieron la culminación del estudio, el mismo que comprende la problemática y las potencialidades del área.

- Tipo de cobertura vegetal existente en la subcuenca Malacatos.

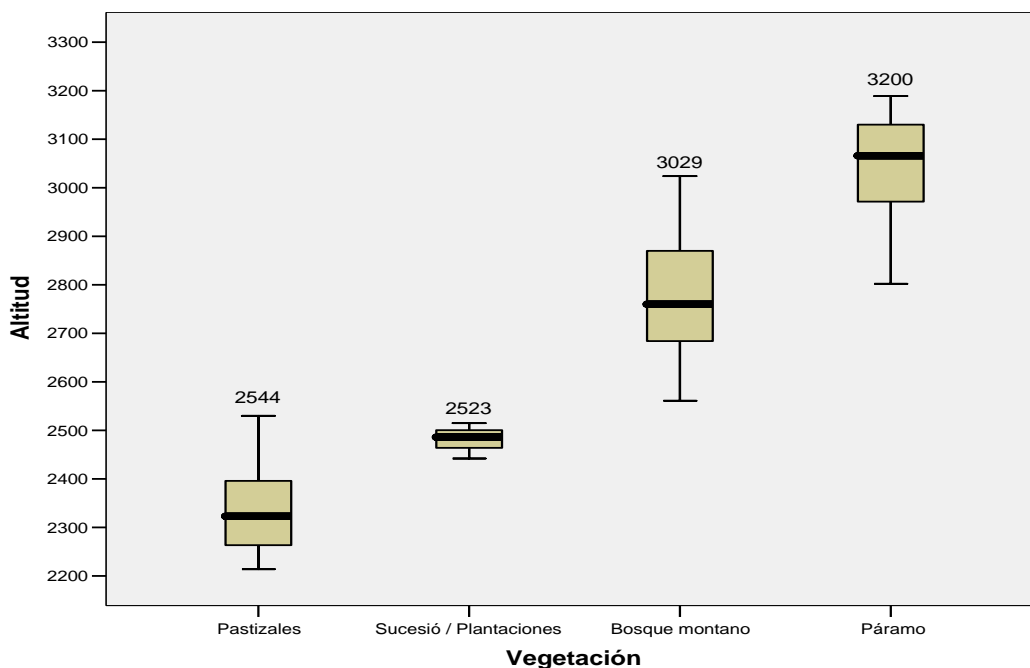
Entre los diferentes tipos de vegetación que se encontró dentro de cada una de las cuadrículas de la subcuenca Malacatos fueron las siguientes: Pastizal, Sucesión, Plantaciones de árboles, Bosque montano y Páramo (Figura 10) y (Anexo 2).







**Relación Altitud / Cobertura vegetal**



**Figura 11.** Distribución cobertura vegetal – altitud.

La construcción de la Figura 11, fue construida con la finalidad de poder explicar de la mejor manera como se encuentra distribuido los diferentes tipos de coberturas vegetal en relación con la altitud. así encontrando las áreas mejor conservadas que van desde la parte intermedia de la subcuenca hasta la parte alta de la misma, además se representa con las barras negras las coberturas vegetales más representativa en esa altitud y en la Tabla 7, podemos encontrar los diferentes tipos de cobertura con sus respectivas áreas que abarcan dentro de la subcuenca Malacatos.

**Tabla 7.** Superficie ocupada por los diferentes tipos de cobertura dentro de la subcuenca Malacatos.

Uso del suelo	Superficie de la Subcuenca Malacatos	
	Perímetro (m)	Área (Ha)
Pastizales	22513,155941	980,550156
Sucesión y Plantaciones de Árbol	18336,986042	336,271586
Bosque Natural	17097,497979	759,384577
Páramo	17374,26217	857,552419





**a: Pastizales**, representado con el 34.1 %, el mismo que se encuentran presentes en las partes bajas de la subcuenca Malacatos, abarcando las tres quebradas en estudio (Namanda, Mónica y Curitroje), este tipo de cobertura los encontramos desde los 2214 hasta los 2544 ms.n.m.

**b y c: Sucesiones y plantaciones de árboles**, en lo que se refiere a sucesión y plantaciones están representadas con el 9.8 %; podemos decir que este tipo de vegetación (sucesión) crece después de un proceso de alteración antrópica o incendios naturales o provocados; a diferencia de las plantaciones que son introducidas por las actividades del hombre con fines comerciales, este tipo de cobertura van desde los 2442 hasta los 2523 ms.n.m se las puede localizar en la parte intermedia de las tres microcuencas. Entre las especies dominantes que se desarrollan son: Llashipa (*Pteridium aracnoides*) en mayor porcentaje, seguida de la Chusquea (*Chusquea sp.*), así como las especies de plantaciones que mayor predominan es el pino y eucalipto.

**d: Bosques montano**, está representado con el 25.6 % de bosque montano, encontrándose en mayor proporción en las microcuencas Mónica y Curitroje, este tipo de cobertura vegetal va desde los 2561 hasta los 3029 ms.n.m, podemos acotar que este tipo de vegetación se encuentra dentro de los límites del área de amortiguamiento de la Reserva de Biosfera Podocarpus - El Cóndor.

**e: Páramo**, este tipo de cobertura vegetal está representado con el 30.5 % encontrándolos en la parte superior de las tres microcuencas (Namanda, Mónica y Curitroje) con mayor representatividad en las microcuencas Namanda y Curitroje y sus altitudes van desde los 2702 hasta los 3200 ms.n.m, al igual que el Bosque también forma parte de la Reserva de Biosfera Podocarpus - El Cóndor.

Según los resultados obtenidos por nuestros estudios y haciendo una comparación con los resultados por parte de Naturaleza & Cultura (NCI, 2006) podemos decir que son muy similares en cuanto al tipo de cobertura vegetal y su porcentaje que representa dentro del área de estudio, el cual no se ha podido evidenciar mayores cambios en el transcurso de estos dos años; aunque la diferencia radica que el estudio de Naturaleza & Cultura, ellos han considerado mayor número de tipos de cobertura vegetal.



Como podemos darnos cuenta en la tabla 8, el análisis de correlación (r de Pearson) nos permite conocer de forma individual las correlaciones significativas entre la altitud, la condición de la vegetación y el tipo de cobertura vegetal.

- Se obtuvo una correlación positiva entre Altitud y Condición de la vegetación, con un nivel de significancia de  $P < 0.01$  y una correlación de  $r = 0,625$
- Así mismo se obtuvo una correlación positiva entre Altitud y Tipo de cobertura vegetal, con un nivel de significancia de  $P < 0.01$  y una correlación de  $r = 0,920$

**Tabla 8.** Matriz de correlación entre Altitud, tipo y Condición de la vegetación

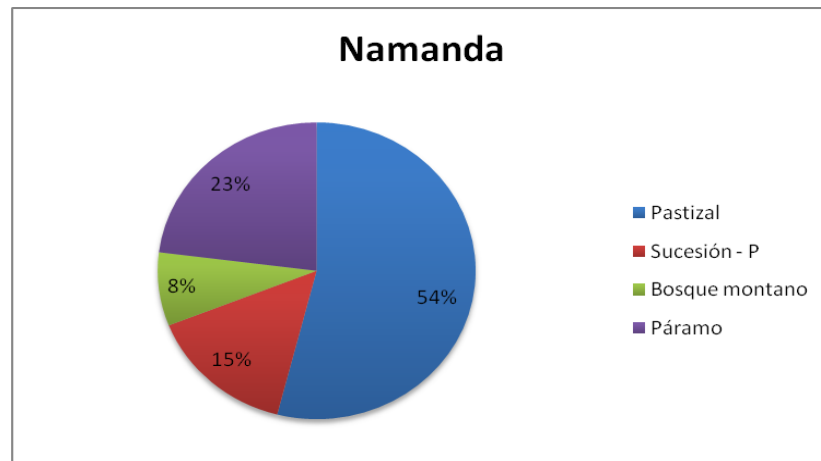
		Correlations		
		Altitud	Condición	Vegetación
Altitud	Pearson Correlation	1	,625**	,920**
	Sig. (2-tailed)		,000	,000
	N	31	31	31
Condición	Pearson Correlation	,625**	1	,626**
	Sig. (2-tailed)	,000		,000
	N	31	31	31
Vegetación	Pearson Correlation	,920**	,626**	1
	Sig. (2-tailed)	,000	,000	
	N	31	31	31

\*\* . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

### **Tipos y condición de la cobertura dentro de la subcuenca Malacatos.**

Con lo que respecta a los Bosques naturales y al Páramo a nivel de la subcuenca Malacatos, las podemos encontrarlos en pendientes muy escarpadas, de difícil o poco acceso y sobre todo conservados en un 80 % debido a que se encuentran dentro de los límites de la Reserva de Biosfera Podocarpus - El Cóndor.

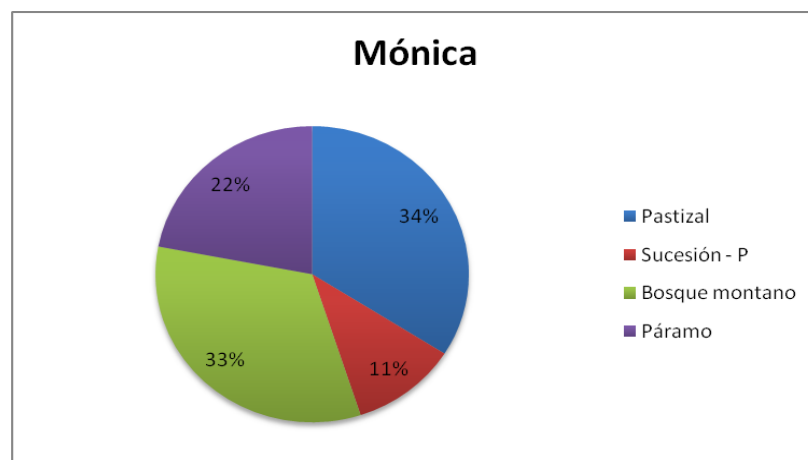
La gráfica de la (Figura 12), nos indica que en la quebrada Namanda existe mayor presencia de pastizales con una representación del 54 % en la microcuenca, el estado de su condición van entre regular y mala sobresaliendo la primera; las sucesiones y plantaciones al igual que el bosque natural, tienen muy poca representatividad dentro de la microcuenca y su condición de la vegetación es regular; a diferencia del páramo que su condición se encuentra en un buen estado, cubriendo un 23 % del área total de la microcuenca Namanda.



**Figura 12.** Condición de la vegetación en la microcuenca Namanda

En la quebrada Mónica (Figura 13), el tipo de cobertura vegetal que mayor predomina son los pastizales y el bosque natural, teniendo en cuenta que la condición de los pastizales es de regular a diferencia del bosque natural que se encuentra en un buen estado; en esta microcuenca las sucesiones se encuentran en malas condiciones; mientras que los páramos su condición es de buena, cubriendo el 22 % total del área de la microcuenca.

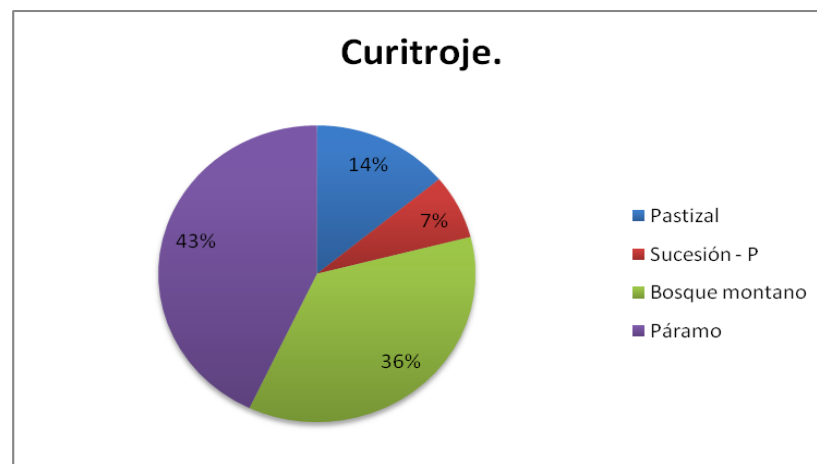
Además se pudo constatar en la quebrada Mónica, dentro de los límites de la Reserva de Biósfera Podocarpus existen personas que se encuentran talando los bosques naturales (Anexo 11), con el fin de convertirlos en potreros sin medir las consecuencias que conlleva la pérdida de bosque y sobre todo el impacto que generará el ingreso de ganado a esta área.





**Figura 13.** Condición de la vegetación en la microcuenca Mónica

Dentro de la quebrada Curitroje (Figura 14), podemos decir que es la mejor conservada, sobre todo en la parte media a alta sobrepasando los límites de la Reserva de Biosfera Podocarpus - Cóndor ya que sumando el bosque natural y el páramo alcanzan un 70 % de representación en toda la microcuenca encontrándose en un buen estado, pero se pudo notar en la parte sur, intermedia de la microcuenca, buenas extensiones de terreno degradados (sin cubierta vegetal en ciertas zonas Anexo 10).



**Figura 14.** Condición de la vegetación en la microcuenca Curitroje.

Riesgo potencial de erosión a través de la ecuación universal de pérdida del suelo revisada (RUSLE) en la subcuenta Malacatos.

### Resultados de erosividad

La erosividad de la lluvia constituye un factor importante para la comprensión de los procesos geomorfológicos que tienen lugar en un territorio. Sin embargo, se trata de un parámetro difícil de estimar en muchos lugares, debido a la falta de los registros pluviométricos. Está demostrado que el índice modificado de Fournier o el índice de Concentración de las Precipitaciones, son buenos indicadores de la capacidad erosiva de la lluvia y de su distribución mensual. Así con ayuda de los registros de precipitación mensual, se pudo obtener los valores de erosividad ( $R$ ), utilizando los datos de la estación la Argelia y de la estación de Cajanuma, los mismos datos que fueron procesados y corresponden a los años 1998, 2001 y 2005 ya que únicamente se puedo



obtener los registros completos correspondientes a estos años, obteniéndose los siguientes resultados en la Tabla 9.

**Tabla 9.** Datos de precipitaciones anuales de las estaciones meteorológicas

Año	Estación	Precipitación anual	
		mm	IFM mm
1998	La Argelia	851,1	86,63
2001	La Argelia	939,7	88,62
2005	La Argelia	917,9	113,62
1998	Cajanuma	2192,63	199,59
2001	Cajanuma	2305,53	219,36
2005	Cajanuma	2482	247,13

Basándonos en la Tabla 3, de la clasificación del Índice de Fournier Modificado y según los valores obtenidos, para el área de influencia de la estación meteorológica la Argelia se puede señalar que, para los años 1998 y 2001 se encuentran dentro de la categoría de *baja*, a diferencia del año 2005, donde se evidencia un incremento y pasa a categoría Moderada; en cuanto a los datos obtenidos de la estación meteorológica Cajanuma, para los tres años de análisis 1998; 2001 y 2005; se encuentran dentro de la categoría Muy alta; por ende las lluvias que se producen tienen un mayor potencial erosivo, afectando de manera significativa en los procesos de degradación del suelo, la presencia de estas lluvias las hemos podido comprobar en el campo, existiendo mayor intensidad en la parte alta (Páramo) de la subcuenca Malacatos.

Un factor que no puede pasar por alto, es la altitud que incide significativamente en los valores obtenidos, ya que existe una diferencia altitudinal aproximada de 1200 m entre ambas estaciones.

### **Resultados de erodabilidad**

Los resultados obtenidos sobre la susceptibilidad del área de estudio a producirse erosión, luego de haber considerado el producto de las fracciones de arena, arcilla, limo, el porcentaje de materia orgánica, permeabilidad y estructura del suelo son de:



**Tabla 10.** Áreas susceptibles a riesgo de erosión.

fechas categorías	Área ha	%
1 Muy baja	421,02	14
2 Baja	1065,28	36
3 Moderada	776,99	26
4 Alta	473,12	16
5 Muy alta	197,37	8
	2933,075	100

Sumando las clases Muy baja y Baja (Tabla 10), podemos obtener que el 50 % total del área de la subcuenca, cuentan con un suelo muy firme y compacto, con mínimas posibilidades de producirse erosión y van desde la parte intermedia hasta la inferior incluidas las tres microcuencas. La clase Moderada con el 26 % comprenden las áreas superiores de las microcuencas Namanda y Curitroje. Con el 16 % de clase Alta, presentes en la parte intermedia de la divisorias de las microcuencas Namanda y Mónica, y en la microcuenca Curitroje sobre la parte superior de la misma; el 8% restante que representa el áreas con mayor susceptibilidad a riesgo de erosión las podemos encontrar dentro de las microcuencas Namanda y Mónica.

**Tabla 11.** Valores de erodabilidad (K)

(K) t/ha/MJ/ha*mm/hr.	Textura
0,093	Areno francoso
0,025 - 0,076	Franco
0,039	Franco arcillo arenoso
0,052 - 0,057	Franco arcilloso
0,030 - 0,090	Franco arenoso

Como puede apreciarse (Tabla 11), los valores de mayor erodabilidad le corresponde a los suelos Franco arenosos, que van de 0.030 a 0.090 t/ha/MJ/ha\*mm/hr. En cambio, la clase textural con menor erodabilidad le corresponde a los suelos Franco y Franco arcillo arenoso, que van de 0.025 a 0.076 t/ha/MJ/ha\*mm/hr correspondientes a los suelos Franco y la clase textural Franco arcillo arenoso es de 0,039 t/ha/MJ/ha\*mm/hr.

En estudios anteriores realizados por Antezana 2001, podemos señalar que los resultados obtenidos son similares en cuanto al aumento o disminución de la Erodabilidad



en relación con la textura de los suelos, así: en suelos Franco arenosos se presenta mayor susceptibilidad a riesgos de erosión, y los podemos encontrar en las partes altas de las microcuencas Mónica y Curitroje a diferencia de los suelos Francos y Francos arcillosos que se encuentran en las partes bajas de las tres microcuencas y tienen una baja susceptibilidad a riesgo de erosión.

La explicación que se puede dar para estos resultados, es que se debe principalmente a los altos contenidos de arena, presente en los suelos Franco arenosos, lo que hace que el suelo se disgregue con mayor facilidad, debido al impacto que sufre por la caída de la lluvia; a diferencia de los suelos Franco y Franco arcillosos, que presenta una cantidad leve de arena lo cual no permite que se dé el proceso mencionado anteriormente.

Comparando estos resultados con los obtenidos a través de Navarrete, 2004; podemos concluir que dichos valores no guardan ninguna relación, puesto que con Navarrete se obtiene valores de ( $K$ ) casi de cero, lo que significa que dichos suelos tienen una mínima tendencia a ser erosionados. La causa principal por la cual se da esta diferencia, se debe a que el monograma de Wischmeier (RUSLE) trabaja con un rango de materia orgánica muy pequeña (de 0-4 %), situación que no se da con nuestra realidad, puesto que se han encontrado suelos con un contenido de materia orgánica superiores a 8 %.

#### Resultados de la longitud de la pendiente

**Tabla 12.** Factor de la longitud y grado de la pendiente.

fechas categorías	Área ha	%
1 Muy baja	208,68	7
2 Baja	1020,86	35
3 Moderada	706,94	24
4 Alta	670,46	23
5 Muy alta	326,82	11
	2933,075	100

Los resultados obtenidos del factor de la longitud y grado de la pendiente (Tabla 12) presentes dentro de la subcuenca Malacatos son: el 42 % de clase Muy baja y Baja en la parte inferior de la subcuenca y presente en la divisorias de las microcuencas Mónica y Curitroje; la clase Moderada comprende un 24 %; con el 23 % concernientes a la clase



Alta comprende las quebradas Namanda y Curitroje; finalmente con clase Muy alta el área representada en las microcuencas Namanda y Mónica, con un 11 % del área total.

Los valores (*LS*) correspondientes a la subcuenca Malacatos en la parte baja oscilan entre 20 y 30 con valores de longitud que van desde los 340 m. y una pendiente del 30%, a diferencia de las partes altas (páramo) que se obtuvo valores mayores a 61 los mismos que comprenden valores de longitud que sobrepasan los 500 m. y con una pendiente máxima del 83 %.

La mayor parte del área de estudio presenta altas pendientes, lo que influye en una mayor sensibilidad del suelo a erosionar frente a los factores ambientales y a la intervención antrópica; según Quinteros y Dyner, 2006; demuestra que el grado de pendientes altas y hondonadas, se da el mayor volumen de erosión. En cambio los suelos planos presentan una baja erosión para casi todos los usos. En el Anexo 8 podemos ver los diferentes valores de (*LS*) que se presenta en la subcuenca Malacatos.

De acuerdo a los resultados obtenidos de Antezana, 2001; hallaron valores que van de 0 a 167, correspondiendo estas, tanto a lugares cercanos a los cauces de los ríos y de las partes altas de las montañas. La razón por la cual se obtiene estos resultados, se debe a que se generaliza demasiado los parámetros tanto de longitud como de pendiente, sin tomar en cuenta las pequeñas inflexiones que tiene los suelos.

### **Resultado de riesgo de erosión o erosión potencial**

El resultado final de Riesgo de Erosión son el reflejo de las condiciones del área, tales como altas pendientes, y un escurrimiento severo debido a las condiciones físicas del suelo, estos resultados se los pudo obtener luego de haber multiplicado los valores de la erosividad, erodabilidad, y el factor de la longitud de la pendiente.

Aunque no es posible cuantificar los niveles de erosión de la cuenca, el hecho de conocer dónde se sitúan las zonas más sensibles es un dato de gran interés porque permite conocer en qué zonas puede haber problemas, vigilarlas y poder llevar a cabo actuaciones protectoras concretas en ellas.





En la siguiente Tabla 13, podemos describir los resultados de riesgos de erosión potenciales, su área y el porcentaje que representa en el área de estudio.

**Tabla 13.** Resultados de riesgo de erosión hídrica en tres años.

Áreas (ha.) de cada una de las categorías de riesgos de erosión

fechas categorías	año 1998	%	año 2001	%	año 2005	%
	ha.		ha.		ha.	
1 Muy baja	250,933	9	295,134	10	1002,595	34
2 Baja	759,460	26	724,827	25	588,159	20
3 Moderada	586,529	20	586,579	20	703,606	24
4 Alta	702,050	24	701,258	24	383,611	13
5 Muy alta	634,104	22	625,279	21	255,103	9
	2933,075	100	2933,075	100	2933,075	100

Según los resultados obtenidos a partir de los mapas, parece claro que la actividad erosiva en este ámbito ha experimentado modificaciones en su comportamiento entre los años que han sido considerados en este estudio. De este modo, si observamos los mapas de erosión potencial de los tres años, vemos como en el año 2005, el riesgo de erosión ha disminuido considerablemente en bastas extensiones de terreno respecto a los años 1998 y 2001 que han mantenido una similitud en cuanto al porcentaje y al área con mayor riesgo de erosión (clases Alto y muy alto). Esto nos hace pensar sobre qué factores han podido modificarse de manera que su influencia sobre el medio haya podido modificar dicho riesgo de erosión.

Una explicación que se puede dar a este suceso, es que en al año 1998 se tuvo una fuerte presencia de lluvias a través del fenómeno del niño, para el año 2001 se esperaba la misma magnitud de este fenómeno pero su presencia no fue tan devastadora como la de 1998. Esta sería una de las causas por la que se puede evidenciar mayor riesgos de erosión específicamente en estos años.

Otras de las causas por las que se puede dar este fenómeno de erosión es por el tipo y estado de la cobertura vegetal, así como las pendientes muy fuertes en las partes altas de la subcuenca sobre todo en las microcuenca Curitroje; a su vez las clases texturales juegan un papel importante ya que con un suelo arenoso y una pronunciada pendiente



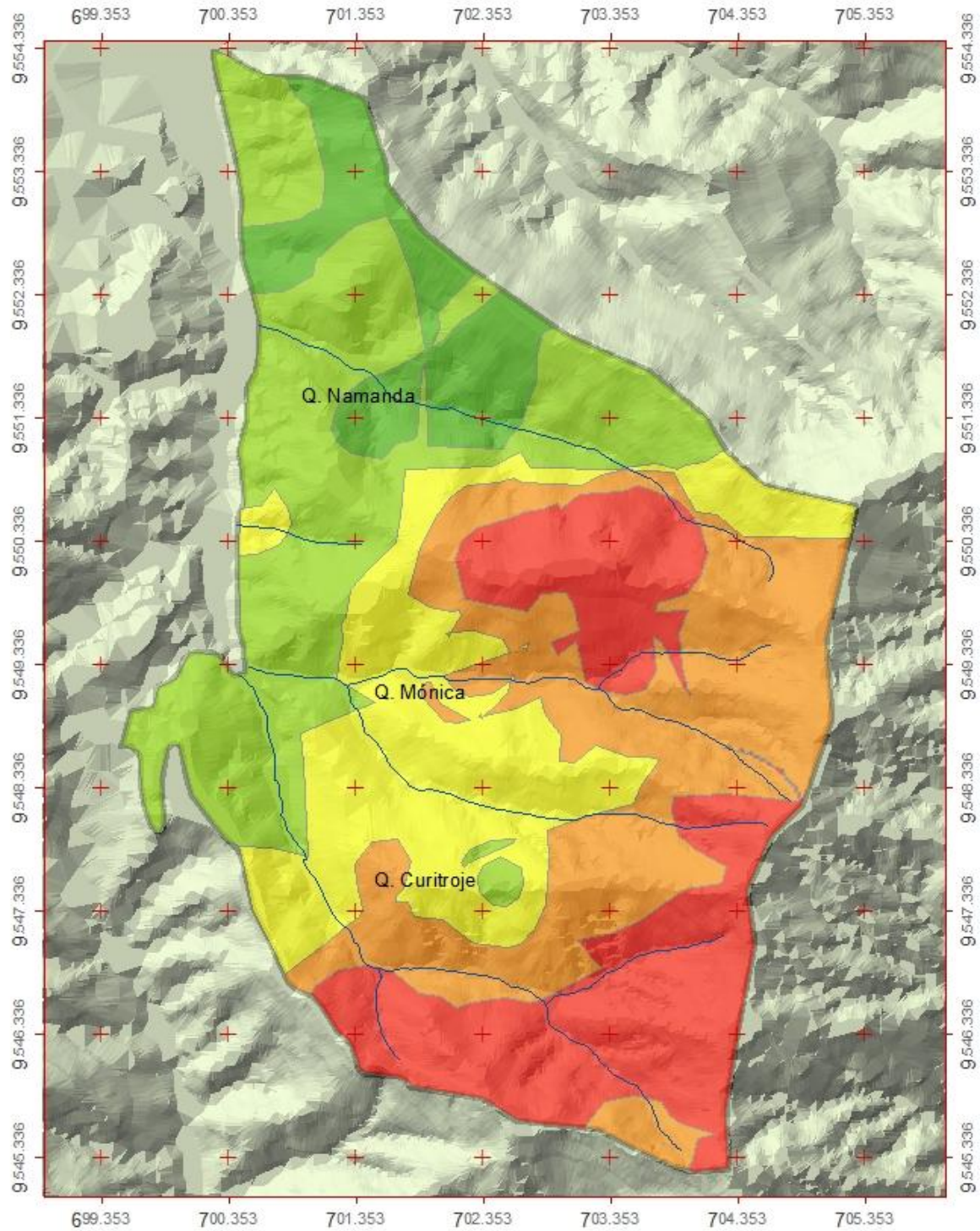
estos suelos quedan más propensos a erosionar, teniendo como consecuencias en lo posterior los deslizamientos que se han venido presentado en estas áreas (Anexo 10).

Para un mejor entendimiento nos podemos regir en las Figuras 15 – 16 y 17 que hacen referencia a cada uno de los años de estudio.



Figura 15. Mapa de erosión potencial año 1998

RIESGOS DE EROSIÓN - SUBCUENCA MALACATOS



Leyenda

- Quebrados Layer
- Curvas de nivel
  - Quebrados
  - Quebrada año\_1998\_areas
  - GRIDCODE
  - Muy bajo
  - Bajo
  - Moderado
  - Alto
  - Muy alto
  - Elevation
  - 1700 - 3400
  - Limite Subcuenca

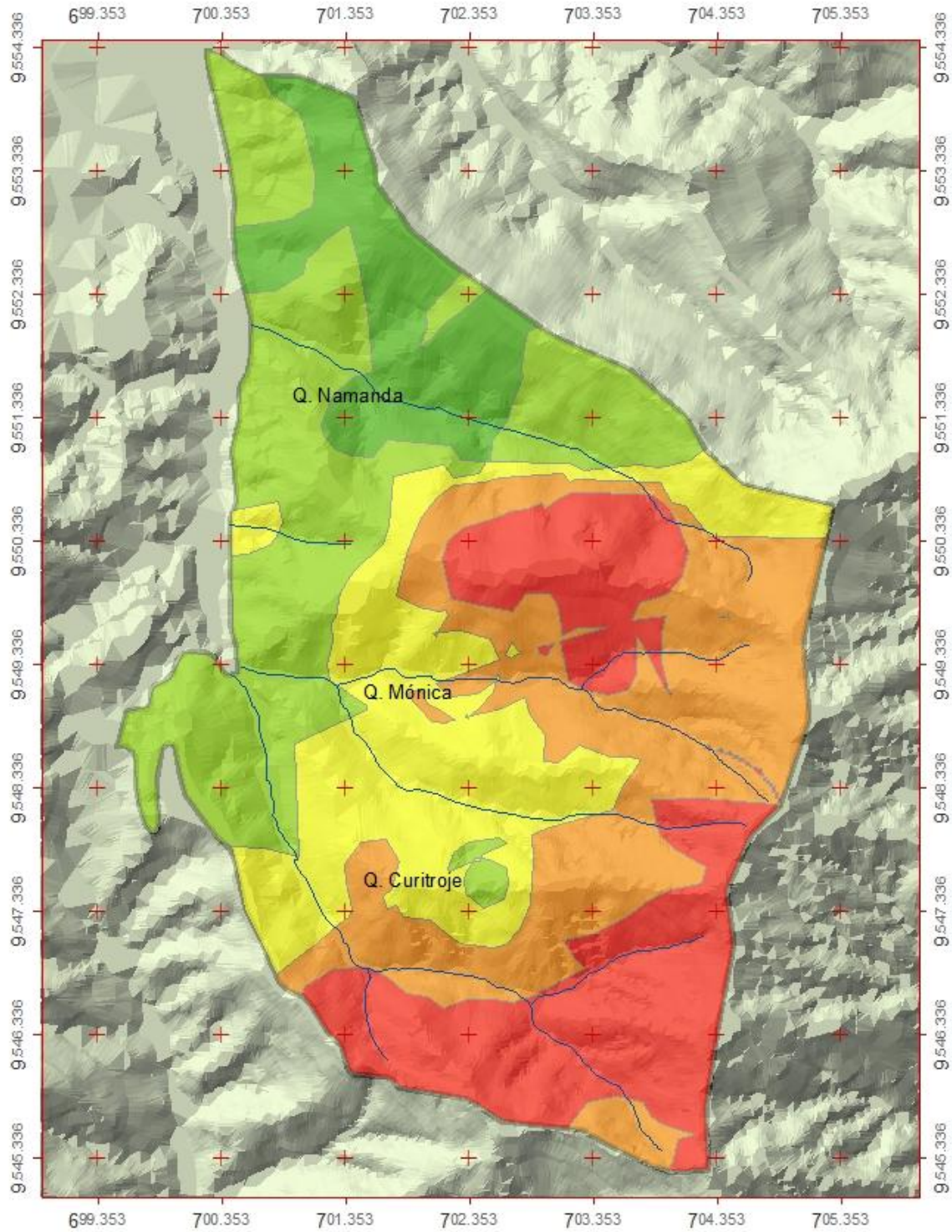


Cristhian Prieto  
IMSS  
UTPL



Figura 16. Mapa de erosión potencial año 2001

RIESGOS DE EROSIÓN - SUBCUENCA MALACATOS



Leyenda

- Quebrados Layer
- Curvas de nivel
  - Quebrados
  - Gridcode
  - Curvatura
  - año\_2001\_area
- |          |
|----------|
| May bajo |
| Bajo     |
| Moderado |
| Alto     |
| Muy alto |
- Elevation
- 1760 - 3400
  - Límite Subcuenca

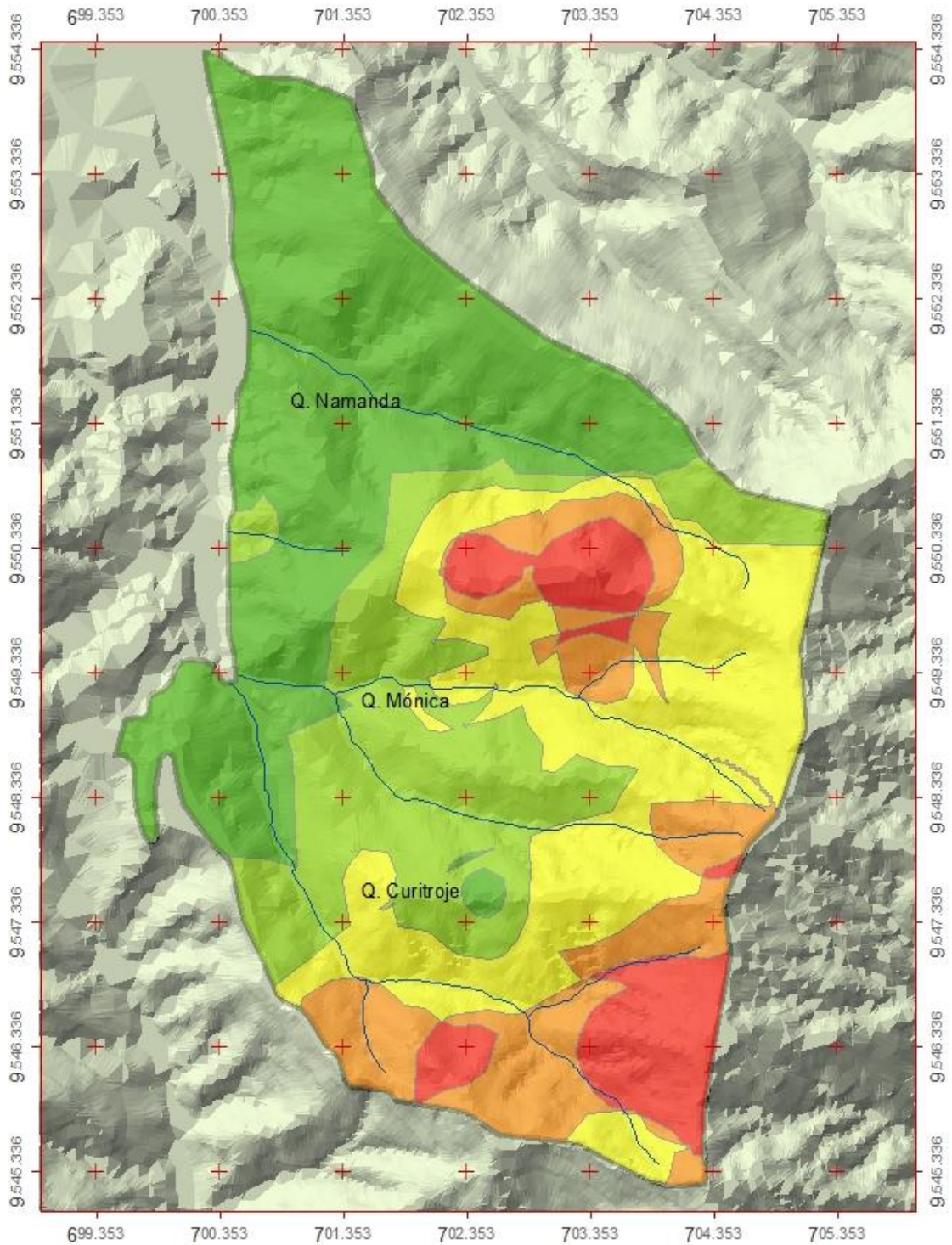


Cristhian Prieto  
IMSS  
UTPL



Figura 17. Mapa de erosión potencial año 2005

RIESGOS DE EROSIÓN - SUBCUENCA MALACATOS



Leyenda

- Quebrados Layer
- Curvas de nivel
  - Quebrados
- Cuadrícula año\_2005\_area
- GRIDCODE
- Muy bajo
  - Bajo
  - Moderado
  - Alto
  - Muy alto
- Elevation
- 1100 - 3400
- Limite Subcuenca



Cristhian Prieto  
IMSS  
UTPL



**Tabla 14.** Resultados de riesgo de erosión hídrica de tres meses del año 2005

fechas categorías	mar-05	%	jul-05	%	nov-05	%
	ha.		ha.		ha.	
1 Muy baja	1044,618	36	520,757	18	314,778	11
2 Baja	630,354	21	482,678	16	714,389	24
3 Moderada	533,265	18	481,062	16	580,392	20
4 Alta	365,674	12	760,958	26	701,129	24
5 Muy alta	359,256	12	688,033	23	622,402	21
	2933,075	100	2933,075	100	2933,075	100

Otro análisis realizado en el presente estudio, consistió en ver los cambios que se producen por la variación de precipitaciones mensual (Tabla 14), dentro de un mismo año. Para ello se consideró los meses de marzo, julio y noviembre logrando obtener los siguientes resultados.

A principios de años (marzo) se tiene una baja afectación de erosión sobre la subcuenca con 1044 ha que representa el 36 %, a diferencia del 12 % del área con un alto riesgo potencial de erosión que representa a 359ha en toda la subcuenca; a mediados de año (Julio) los datos cambian significativamente obteniéndose que se reduce el área con menor afectación de erosión potencial, mientras que la clasificación Alta y muy Alta aumenta su extensión de erosión potencial en toda la subcuenca. A finales de año se nota una disminución aún mayor a la clase de Muy bajo riesgo de erosión, representado con el 11 % que equivale a 314 ha, mientras que en el Muy alto riesgo de erosión se denota una disminución en la vulnerabilidad a sufrir erosión con el 21 % que equivale a 622 ha, de toda la Subcuenca Malacatos (Figuras 18 – 19 y 20).

El aumento y disminución del área que se ve afectada dentro de la subcuenca Malacatos se debe al factor lluvia (precipitaciones), ya que los factores de erodabilidad y factor topográfico son constantes dentro del análisis anual.



Figura 18. Mapa de erosión potencial año 2005 - marzo

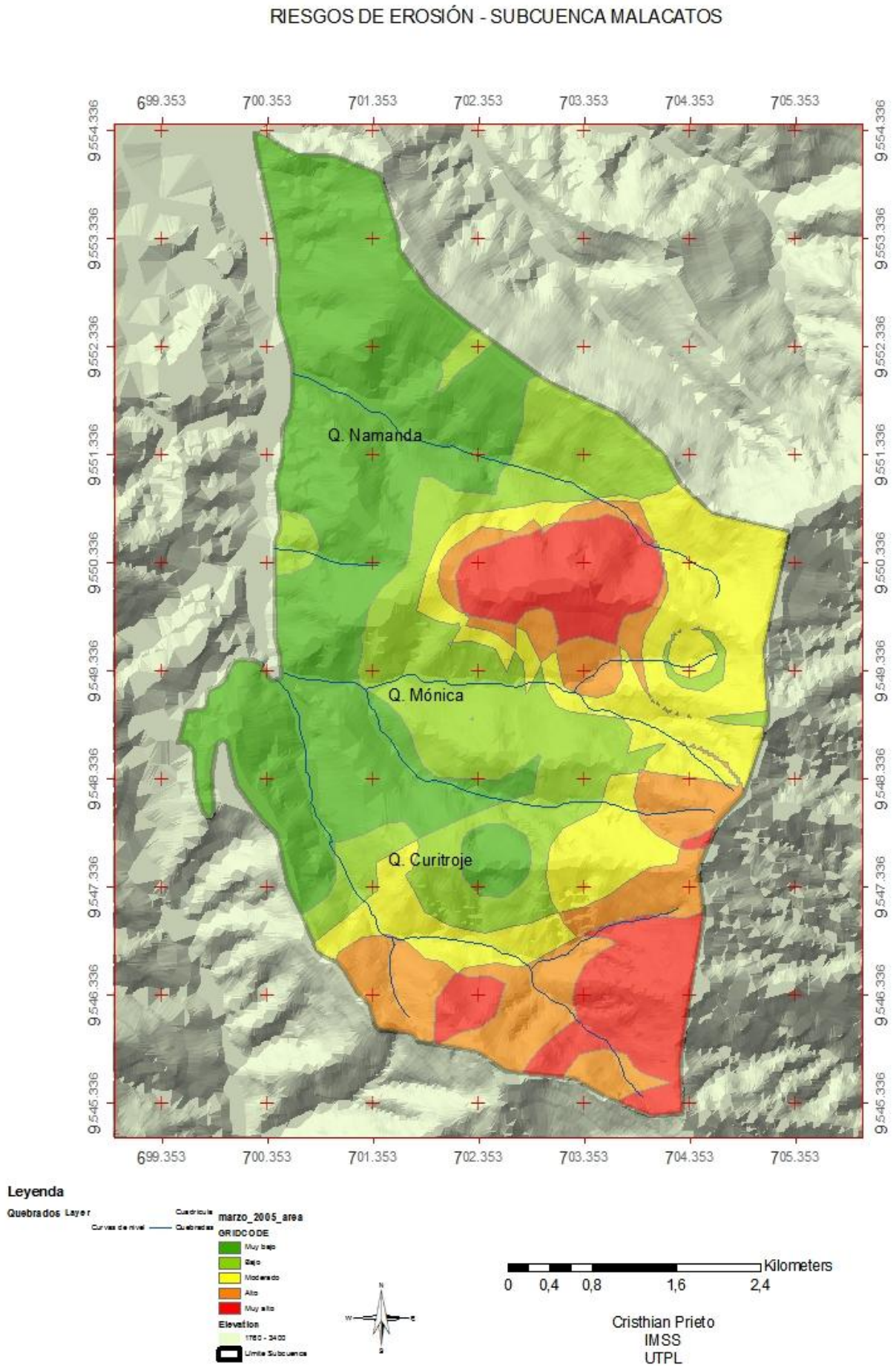
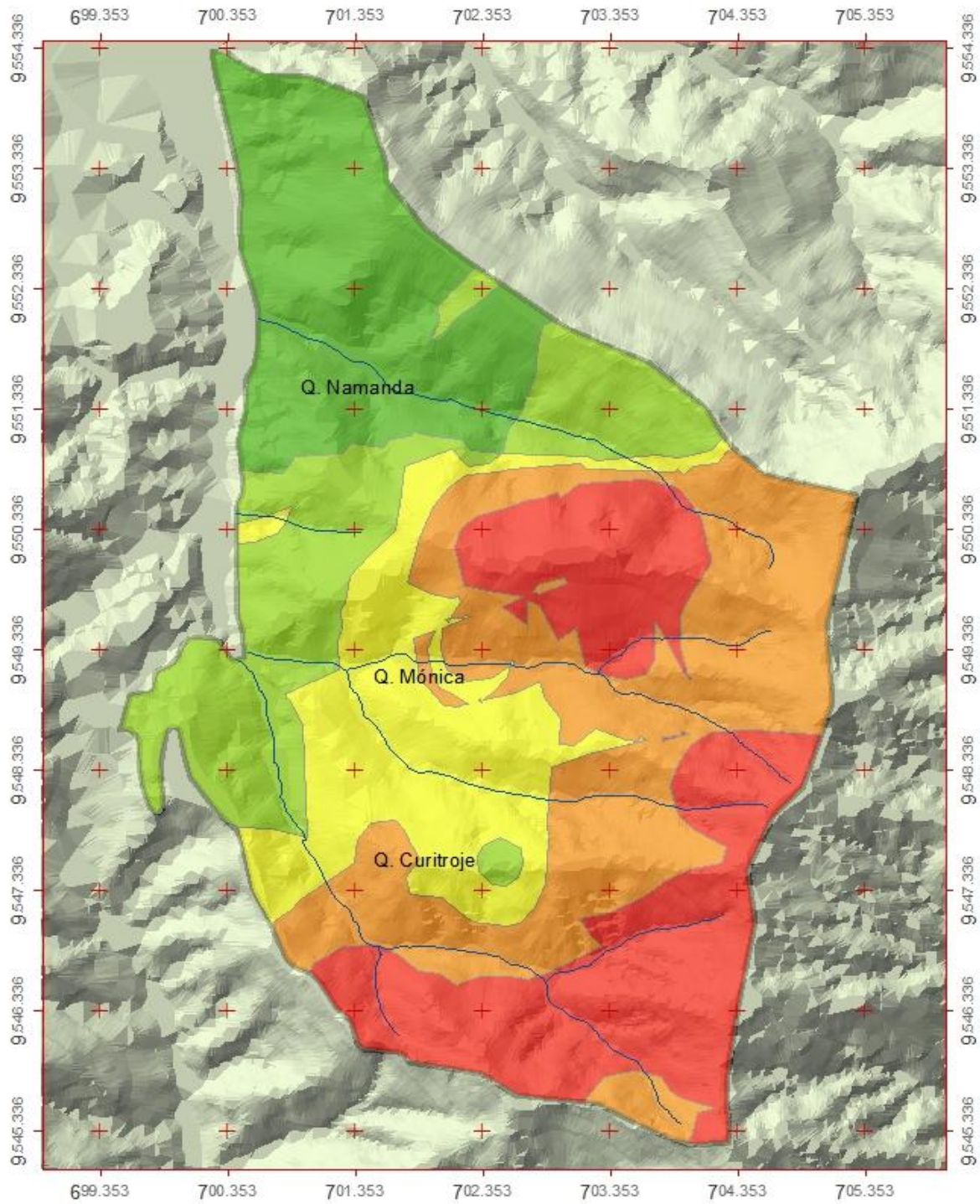




Figura 19. Mapa de erosión potencial año 2005 - julio

RIESGOS DE EROSIÓN - SUBCUENCA MALACATOS



Leyenda

- Quebrados Layer
- Curvatura
  - Curvas de nivel
  - Quebrados
  - Julio\_2005\_area
  - GRIDCODE
  - Muy bajo
  - Bajo
  - Moderado
  - Alto
  - Muy alto
  - Elevation
  - 1160 - 3400
  - Limite Subcuenca



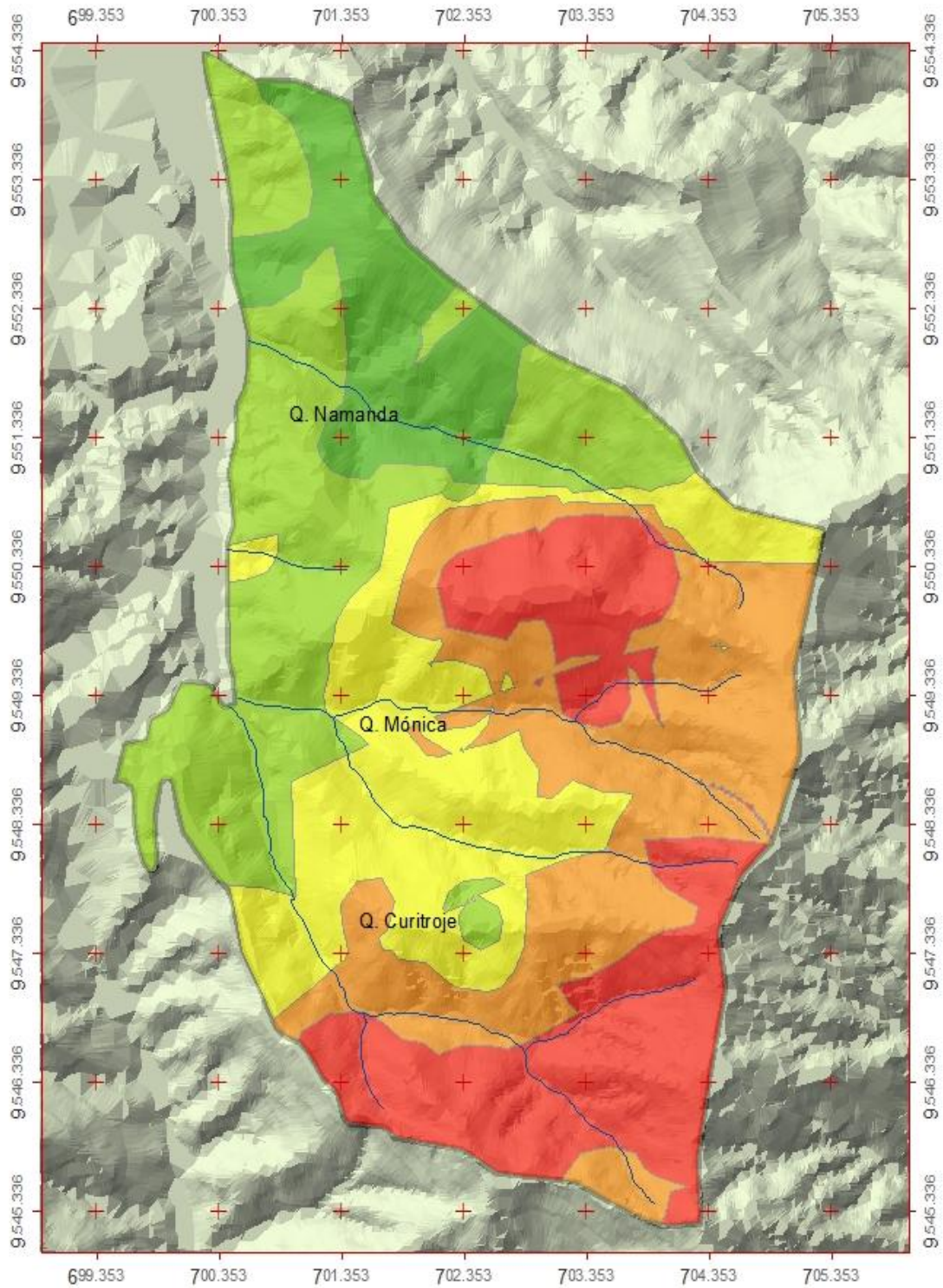
Cristhian Prieto  
IMSS  
UTPL





Figura 20. Mapa de erosión potencial año 2005 - noviembre

RIESGOS DE EROSIÓN - SUBCUENCA MALACATOS



Leyenda

Quebrados Layer

- Curvas de nivel
- Quebrados
- noviembre\_2005\_area
- GRIDCODE
  - Muy bajo
  - Bajo
  - Moderado
  - Alto
  - Muy alto
- Elevation
  - 1700 - 3400
- Limite Subcuenca



Cristhian Prieto  
IMSS  
UTPL



- Las zonas con mayor capacidad de almacenamiento de agua en la Subcuenca Malacatos.

Los resultados de almacenamiento de agua (Figura 21) están considerados para una profundidad de 20 cm; encontrándonos que en las partes altas de la subcuenca Malacatos tiene baja capacidad de almacenamiento la misma que se podría almacenar entre 9 y 11 mm de agua, la parte intermedia de la subcuenca considerando mayor extensión de la microcuenca Curitroje cuenta con una clase moderada con una capacidad de almacenamiento de 13 mm de agua y la parte baja de la subcuenca está entre alta y muy alta su capacidad de almacenamiento, las mismas que pueden ser de 16 a 21 mm.

**Tabla 15.** Correlación entre la altitud, textura, erosión y lámina almacenable de agua.

		Correlations					
		Lámina	Altitud	Arena	Arcilla	Limo	Erosion
Lámina	Pearson Correlation	1	-,684**	-,546**	,606**	,300	-,531**
	Sig. (2-tailed)		,000	,002	,000	,101	,002
	N	31	31	31	31	31	31
Altitud	Pearson Correlation	-,684**	1	,336	-,366*	-,191	,551**
	Sig. (2-tailed)	,000		,064	,043	,305	,001
	N	31	31	31	31	31	31
Arena	Pearson Correlation	-,546**	,336	1	-,716**	-,849**	,437*
	Sig. (2-tailed)	,002	,064		,000	,000	,014
	N	31	31	31	31	31	31
Arcilla	Pearson Correlation	,606**	-,366*	-,716**	1	,240	-,290
	Sig. (2-tailed)	,000	,043	,000		,194	,113
	N	31	31	31	31	31	31
Limo	Pearson Correlation	,300	-,191	-,849**	,240	1	-,388*
	Sig. (2-tailed)	,101	,305	,000	,194		,031
	N	31	31	31	31	31	31
Erosion	Pearson Correlation	-,531**	,551**	,437*	-,290	-,388*	1
	Sig. (2-tailed)	,002	,001	,014	,113	,031	
	N	31	31	31	31	31	31

\*\* . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

\* . Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

Como podemos ver en la tabla de correlación (Tabla 15), existe correlaciones tanto positivas como inversas con algunas variables así: Con lo que respecta a la lámina potencialmente almacenable de agua con la altitud, nos da una correlación inversa con un nivel de significancia de  $P < 0.01$  y una correlación de  $r = -0,684$  la misma que nos indica que a mayor altitud menor cantidad de almacenamiento de agua y a menor altitud mayor capacidad de almacenamiento de agua.



En lo que se refiere a textura podemos describir que existe una correlación inversa entre la lámina potencialmente almacenable de agua y la arena, mientras que con la arcilla existe una correlación positiva así: la correlación existente con la arena, con un nivel de significancia de  $P < 0.01$  y una correlación de  $r = -0,546$  nos quiere decir que a mayor cantidad de arena menor será la capacidad de almacenamiento de agua y a menor cantidad de arena mayor será la capacidad de almacenamiento de agua. Así mismo existe una correlación con la arcilla, con un nivel de significancia de  $P < 0.01$  y una correlación de  $r = 0,606$  la misma que nos indica que en las partes con mayor cantidad de arcilla mayor será el almacenamiento de agua como se presenta en las partes bajas de la subcuenca Malacatos.

Con lo que respecta a la erosión también influye el almacenamiento de agua de forma inversa así, con un nivel de significancia de  $P < 0.01$  y una correlación de  $r = -0,531$  lo que nos indica que en las partes altas donde existe mayor riesgo a erosión, se retiene una menor cantidad de agua, mientras que en las partes bajas donde existen menor riesgo de erosión, el almacenamiento de agua es mayor.

Según Plaster, 2000; la materia orgánica mejora las condiciones de todos los suelos minerales así, con los suelos arenosos incrementando su capacidad de retención de agua y nutrientes; en cuanto a suelos arcillosos los suelta y mejora su laboreo. Esto debido a que en las praderas se genera la mayoría de la materia orgánica ya que la maza de la raíz en una pradera de pasto húmedo suma un aproximado de 14,5 toneladas por hectárea, a diferencia de los bosques que generan materia orgánica como residuos en la superficie del suelo, que se descompone en una delgada capa de materia orgánica quedándose en el horizonte A, poco profunda y rica en humus.

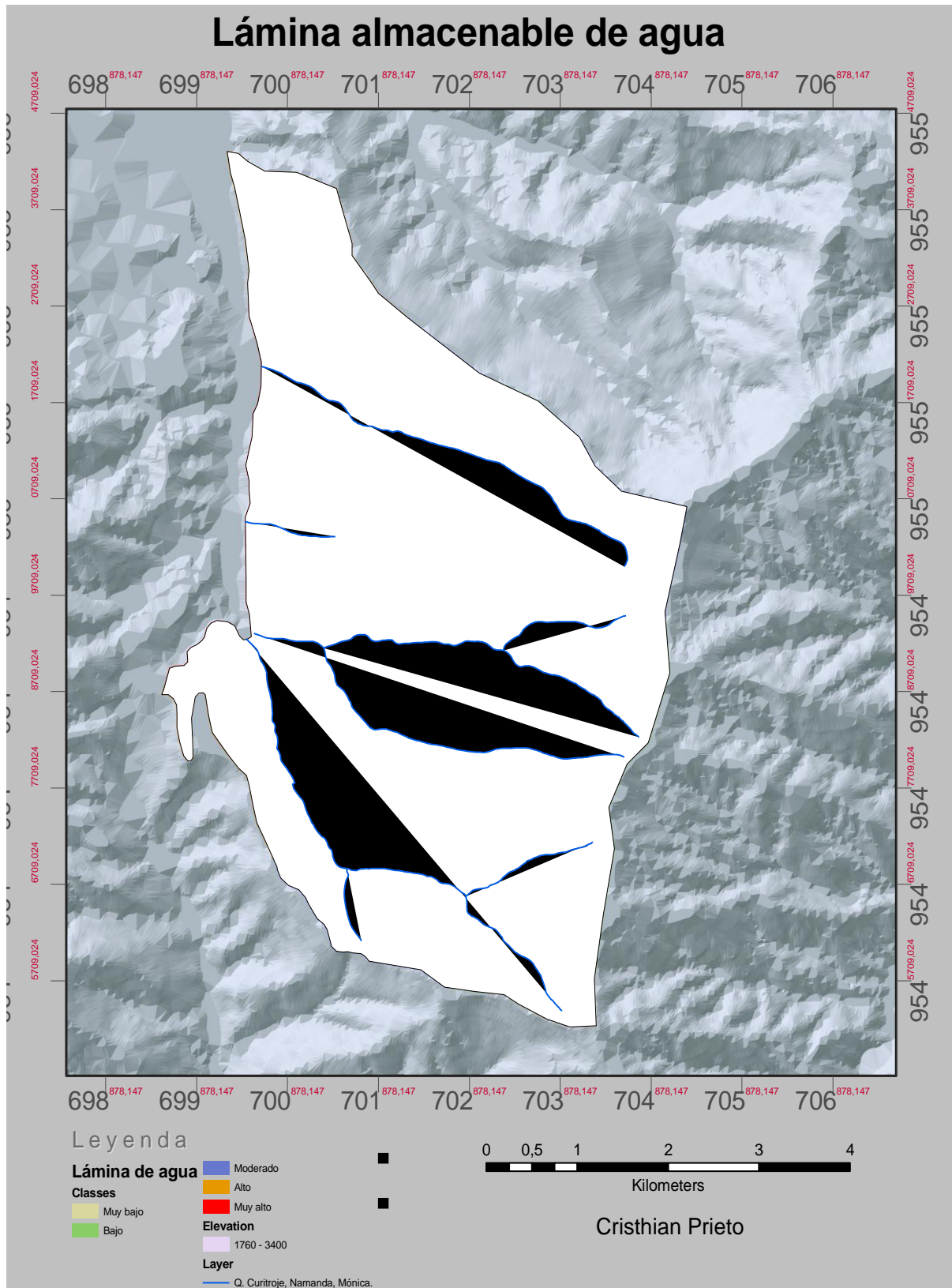


Figura 21. Lámina potencialmente almacenable de agua



## 8.- CONCLUSIONES

- Los tipos de vegetación encontrados en la subcuenca Malacatos, en función a la altitud son: Pastizales (2214 hasta los 2544 ms.n.m de altitud), Sucesión y plantaciones (2442 hasta los 2523 ms.n.m de altitud), Bosque natural (2561 hasta los 3029 ms.n.m de altitud) Páramo (2702 hasta los 3200 ms.n.m de altitud)
- Las especies forestales introducidas son una amenaza para los Bosques naturales y Páramos; que a su vez va a influenciar en los servicios ambientales como lo es el recurso hídrico, acidez del suelo, entre otros.
- La cobertura vegetal es un factor muy importante para que el suelo tenga mayor o menor tendencia a la erosión, dependiendo del tipo y estado que se encuentre la vegetación.
- Así mismo se pudo comprobar una correlación muy alta entre el tipo de cobertura vegetal con la altitud.
- En cuanto a las clases texturales de la subcuenca Malacatos, la textura es un factor influyente en cuanto a la susceptibilidad a riesgo de erosión, debido al tamaño de las partículas que lo compongan como lo es en el caso de los suelos francos arenosos con mayor riesgo de erosión.
- La exactitud para determinar el factor de erosividad fuera mejor si, se utiliza mayor número de datos de estaciones meteorológicas.
- Los resultados obtenidos mediante la aplicación del RUSLE a través del SIG, permite no solamente la estimación de la magnitud del riesgo de erosión, sino también la localización de las áreas potencialmente más afectadas, de tal manera que las acciones de conservación puedan implementarse en puntos específicos y en una forma jerárquica.



- Así mismo, se puede decir que dentro de la Lámina potencialmente almacenable de agua, existe una correlación positiva con la arcilla, la misma que permite la retención de éste líquido.
- Con respecto a la altitud, existe una correlación inversa, la misma que nos da a entender que a menor altura mayor retención de agua; se produce este fenómeno principalmente por las características de la granulometría del suelo y por el grado de la pendiente, las mismas que son demasiado pronunciadas.

## 9.- RECOMENDACIONES

- Realizar una comparación entre los tipos de vegetación observados en el campo con un análisis de imágenes aéreas o satelitales, con el fin de corroborar la información.
- Es recomendable realizar la toma de muestras bajo un mismo estado del tiempo, para que los resultados no se vayan a ver afectados.
- Tomar a consideración la cantidad necesaria de muestra, la misma que permita desarrollar todos los análisis respectivos en el laboratorio.
- Se recomienda realizar un estudio multitemporal de por los menos 10 años, de tal manera que se pueda entender los cambios suscitados en el área.
- En caso de no contar con estaciones meteorológicas, implementarlas en el área de estudio en puntos estratégicos para poder desarrollar el trabajo.
- Se recomienda para trabajos posteriores reducir el área de muestreo, con la finalidad de conocer minuciosamente el estado de la Subcuenca.
- Se recomienda para próximas aplicaciones del RUSLE hacer uso directo de los programas de "SIG", con el fin de minimizar el margen de error al aplicar las ecuaciones.



## 10.- BIBLIOGRAFÍA

- Acta Agronómica, 2006. Identificación de suelos susceptibles a riesgo de erosión y con mayor cantidad de almacenamiento de agua. Vol. 56 N°3 Págs. 117-125
- Antezana, F. 2001. Calibración de los Factores de erosión utilizando la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo Revisado "RUSLE" en sistemas de producción agrícolas de la Cuenca Taquiña. Tesis Maestría Profesional en "Levantamiento de Recursos Hídricos" (en línea) Consultado el: 26 de abril 2008 disponible en: <http://www.umss.edu.bo/epubs/earts/downloads/66.pdf>
- Baquero, F., Sierra, R., L. Ordoñez, M. Tipán, L. Espinosa, M.B. Rivera y P. Soria. 2004 La Vegetación de los Andes del Ecuador. Memoria explicativa de los mapas de vegetación: potencial y remanentes a escala 1: 250.000 y del modelamiento predictivo con especies indicadoras. EcoCiencia/CELSA/CORPORACIÓN EcoPar/MAG SIGRAGO/CDC-Jatun Sacha/ División Geográfica-IGM Quito 56 págs.
- Benítez, J. 2004. Manejo integrado de suelo y agua para un desarrollo agrícola sostenible en América Latina LEISA, vol. 19, p 4.
- Campo, A. 2003. Estudio integrado de la cuenca del río Pisque, Cantón Cayambe, Ecuador (en línea) Consultado el: 26 de abril 2008 disponible en: [http://www.cepeige.org/Documentos/2003\(5-20\).pdf](http://www.cepeige.org/Documentos/2003(5-20).pdf)
- Carter, M 1993. Muestreo del Suelo y métodos de análisis. Editorial Lewis. Boca Raton, Florida.
- Comisión de la Unión Europea. 2002. Hacia una estrategia temática para la protección del suelo (en línea). Consultado 10 set. 2008. Disponible en <http://www.eurlex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2002:01pdf>
- Cueva, E. 2002. Loja tiene altos niveles de erosión. (en línea) Consultado el: 5 de mar. 2008 disponible en: <http://archivo.eluniverso.com/2002/06/17/0001/12/88CB2EC30E744CAF80ACEF89A54FB841.aspx>
- Escobar, P., Carlos, E., 2003. Universidad Nacional de Colombia. Manizales (en línea) Consultado el: 19 de mar. 2008 disponible en: Disponible en: [http://www.geocities.com/carlose\\_escobar/1\\_presentacion.htm](http://www.geocities.com/carlose_escobar/1_presentacion.htm)



- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación), 2008. Aumenta la degradación del suelo. (en línea) Consultado el: 5 de mar. 2008 disponible en: <http://www.fao.org/newsroom/es/news/2008/1000874/index.html>
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación) 2006. Guidelines for soil description (en línea) Consultado el: 10 de abril del 2008 disponible en: <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/009/a0541e/a0541e00.pdf>
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación) 1999. New concepts and approaches to land management in the tropics with emphasis on steeplands. FAO Soils Bulletin No. 75. FAO, Roma. 125 pp.
- Foster, et al., 1987. Contaminación de las aguas subterráneas. Un enfoque ejecutivo de la situación en América Latina y el Caribe en relación con el suministro de agua potable. OMS/ OPS/CEPIS. 42pp.
- Fuentes, J. 1998. Técnicas de Riego. Tercera edición, Mundi-Prensa, Madrid 215págs.
- García, Y. 2006. Monitoreo de erosión hídrica y validación de la Ecuación Universal de Pérdida del suelo (revisada y modificada) en la estación agroecológica de la UTPL. Tesis Ing. Civil, Loja, Ecuador, UTPL.
- GEOLOJA, 2007. Perspectivas del medio ambiente urbano. Publicado por PNUMA, Municipalidad de Loja y Naturaleza y Cultura Internacional. Loja (Ecuador). 191 págs.
- Gonzales, et al., 2004. Ingeniería Geológica. PEARSON EDUCACIÓN, Madrid-España, 744 págs.
- Gutiérrez, J. 2000. SIG: Sistemas de información Geográfica. Nº2 Síntesis S. A. España 251 págs.
- Henao, J. 1998. Introducción al Manejo de Cuencas Hidrográficas. Universidad Santo Tomás – USTA, Santafé de Bogotá, D. C. 395 págs.
- INEC (Instituto Nacional de Estadísticas y Censos), 2003. Censo de población y vivienda 2001. Quito (Ecuador).
- Iñiguez, M. 1999. Manejo y conservación de suelos y aguas. Loja, Ecuador. Gráficas cosmos. 192 Pág.
- Jiménez, F. 2005. Gestión integral de cuencas hidrográficas. Enfoques y estrategias actuales. CATIE Recursos, Ciencia y decisión. No.2.
- Kirkby & Morgan, 1991 Erosión de Suelos. LIMUSA S. A. México, 375 págs.





- Mannaerts, C. 1999. Factores de erosión. Módulo 11: Degradación de suelos. ITC. Curso de Postgrado en levantamiento de recursos hídricos. Cochabamba, Bolivia.
- Miranda, E. 2007. Física de suelos. Su impacto en la Productividad Agrícola (en línea) Consultado el: 26 de abril del 2008 disponible en: <http://www.monografias.com/trabajos-pdf/suelos-productividad-agricola/suelos-productividad-agricola.pdf>
- Morgan, R. 1995. Erosión y Conservación del Suelo. Mundi-Prensa, Madrid, 343 págs.
- Moreno, A. 2006 Sistemas y análisis de la información geográfica. Alfaomega S.A. México, 895 págs.
- Mozo *et al.* 1999. Ecología y conservación de recursos naturales renovables “Conservación de Cuencas Hidrográficas” primera edición. Santa Fe de Bogotá, D. C. Colombia, 164 págs-
- Muñoz, F. 2007. Manejo de Cuencas Hidrográficas Tropicales. CCE-L-Loja. Ecuador, 206 págs.
- Naturaleza y Cultura Internacional. 2006. Valoración del Recurso Hídrico en Microcuencas Abastecedoras de Agua para el Cantón Loja.
- Navarrete, D. 2004. “Propuesta metodológica para el análisis territorial en la cuenca hidrográfica del estero el Peral, comuna de Carahue, ix Región” Tesis Lic. Recursos Naturales, Temuco, Universidad Católica de Temuco.
- Pla Sentís, 2003. Física de suelos e hidrología en América Latina, México.
- Plaster, E. 2000. La Ciencia del Suelo y su Manejo. Edit. Paraninfo. Madrid, España 419 págs.
- Quintero, L., Dyner, I. Modelo de caracterización de la dinámica de potencialidades del suelo y dinámica de sistemas. (en línea) Consultado el: 26 de abril del 2008 disponible en: [http://simon.uis.edu.co/WebSIMON/Eventos/Encuentro\\_2004/trabajos/16/documen-to/16.pdf](http://simon.uis.edu.co/WebSIMON/Eventos/Encuentro_2004/trabajos/16/documen-to/16.pdf)
- Renard, K.G., Foster, G.R., Weesies, G.A., McCool, D.K. and Yoder, D.C. coordinators. (1997). Predicting Soil Erosion by Water: A Guide to Conservation Planning With the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE). U.S. Department of Agriculture, Agriculture Handbook No. 703, 404p.
- RUSLE: Renard, K.G., G.R. Foster, G.A. Weesies, D.K. McCool, and D.C. Yoder (Coordinators). 1997. Predicting Soil Erosion by Water: A Guide to Conservation



Planning With the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE). USDA Agriculture Handbook No. 703.

- Seoáñez, M. 1998. Contaminación del Suelo: Estudios, Tratamientos y Gestión. Aedos. Mundi-Prensa libros s. a. España. 352 págs.
- Sullivan, P. 2007, El Manejo Sostenible del suelo (en línea) Consultado el: 26 de abril del 2008 disponible en: [www.attra.ncat.org/espanol/pdf/suelos.pdf](http://www.attra.ncat.org/espanol/pdf/suelos.pdf)
- USDA. *Predicting soil erosion by water: a guide to conservation planning with the Revised*
- *Soil Loss Equation (RUSLE)*, United States Department of Agriculture, Handbook number 703, USDA, USA
- Vera, E. 2000. Herramienta de consulta volcánica bajo el contexto de un GIS (en línea) Consultado el: 10 de abril de 2008 disponible en: [http://catarina.udlap.mx/u\\_dl\\_a/tales/documentos/lis/vera\\_c\\_ea/capitulo3.pdf](http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lis/vera_c_ea/capitulo3.pdf)
- Villalobos, M. 2005. Diseño de drenaje superficial. Publicado por Editorial Tecnológica de CR. (en línea) Consultado el: 10 de abril de 2008 disponible en: <http://books.google.com.ec/books?id=i5d82Djs8qUC>.
- Wischmeier, W. H. y Smith, D.D. 1978. *Predicting Rainfall Erosion Losses – A Guide to Conservation Planning*, USDA, USA.

**ANEXOS 1**  
**Fichas Técnica de campo**

**Ficha Técnica de Campo Subcuenca Malacatos**

<b>Muestreador/es:</b>		<b>Fecha:</b>	
<b>Código del lugar:</b>		<b>Posición en el paisaje:</b>	CR/UP/MS/LS/TS/BO
<b>Coordenadas (UTM):</b>		<b>Uso del suelo/vegetación:</b>	BN/PA/SP/Ar/PZ/C
<b>Altitud:</b>		<b>Condición vegetación:</b>	B / R / M
<b>Pendiente (%):</b>		<b>Tratamiento de la vegetación:</b>	SR/CN/Te+CN/sT
<b>Forma de pendiente:</b>	S / C / V / T / X	<b>Distancia al filo y su uso:</b>	
<b>Orientación de pendiente:</b>	°	<b>Distancia al cauce y su uso:</b>	
<b>Estado del clima:</b>	WC1/WC2/WC3/WC4/WC5	<b>Temperatura media la semana pasada (°C):</b>	
<b>Clima del día:</b>	SU/PC/OV/RA/SL	<b>Régimen de humedad del suelo:</b>	
<b>Rocas superficie(%):</b>		<b>Grosor costra(mm):</b>	
<b>Costra superficial:</b>	Y / N		
<b>Influencia humana:</b>	BR/TE/FE/MU/MO/IU/AD/PL/SC/N		
<b>Profundidad de raíces (cm):</b>		<b>Observaciones:</b>	
<b>Enraizamiento profundo (visible) (cm):</b>			
<b>Profundidad a roca (cm):</b>			

**Descripción de la ficha Técnica**

Descripción de la Ficha Técnica de Campo					
<b>Uso del suelo/vegetación:</b>	Bosque natural	BN	<b>Código del lugar:</b>	Las 3 primeras letras de la Microcuenca + N° grilla	
	Plantaciones de Arboles	PA	<b>Pendiente:</b>	Grados	°
	Silvopasturas	SP	<b>Forma de la pendiente:</b>	Recta	S
	Arbustos - Luzaras	Ar		Concava	C
	Pastizales	PZ		Convexa	V
	Cultivos	C		Terraza - esc:	T
<b>Condición de Vegetación:</b>	Buena > 75%	B		Compleja	X
	Regular 50 - 75%	R	<b>Influencia humana:</b>	Quemas	BR
	Mala < de 50%	M		Terraceo	TE
<b>Tratamiento de la vegetación</b>	Surcos rectos	SR		Aplicación de	FE
	Curvas a nivel	CN		Aplicación de	MO
	Terraza y curva a nivel	T+CN		Riego	IU
	Sin tratamiento mecánico	s/T		Arado	PL
<b>Posición en el paisaje:</b>	Corona - Cresta	CR		Compactació	SC
	Alta pendiente	UP		Contaminació	PO
	Media pendiente	MS		No influye	N
	Baja pendiente	LS			
	Inicio de la pendiente	TS			
	Junto al cauce - plano	BO	<b>Estado del clima:</b>	Ausencia de l	WC1
<b>Clima del día:</b>	Soleado	SU		Ausencia de l	WC2
	Parcialmente nublado	PC		Ausencia de l	WC3
	Nublado - sombrío	OV		Lluvioso, luvii:	WC4
	Lluvia fuerte	RA		Aguaceros en	WC5
	Llovizna	SL			
<b>Distancia al filo y su uso:</b>	Dist. aproximada + Uso del Suelo junto al filo (acompañar de foto y diagrama)				
<b>Distancia al cauce y su uso:</b>	Dist. aproximada + Uso del Suelo junto al cauce (acompañar de diagrama y foto)				

## ANEXO 2

### Tipos de cobertura vegetal de la Subcuenca Malacatos

	Código del lugar	Altitud	Tipo de vegetación	Condición vegetación:
1	Namanda	2220	Pastizal	Regular 50 - 75%
2	Namanda	2486	Sucesión/P pino/p eucalipto	Mala < de 50%
3	Namanda	2275	Pastizal	Regular 50 - 75%
4	Namanda	2530	Pastizal/sucesión	Mala < de 50%
5	Namanda	2214	Pastizal	Regular 50 - 75%
6	Namanda	2413	Pastizal	Regular 50 - 75%
7	Namanda	2342	Pastizal	Mala < de 50%
8	Namanda	2702	Páramo	Buena > 75%
9	Namanda	2260	Pastizal /P pino	Regular 50 - 75%
10	Namanda	2515	sucesión/P pino	Regular 50 - 75%
11	Namanda	2765	Bosque montano	Regular 50 - 75%
12	Namanda	2899	Páramo	Regular 50 - 75%
13	Namanda	3066	Páramo	Buena > 75%
14	Mónica	2267	Pastizal	Regular 50 - 75%
15	Mónica	2379	Pastizal	Regular 50 - 75%

16	Mónica	2370	Pastizal/ Bosque natural	Regular 50 - 75%
17	Mónica	2561	Bosque montano	Buena > 75%
18	Mónica	3115	Páramo	Buena > 75%
19	Curitroje	2304	Pastizal	Regular 50 - 75%
20	Mónica	2442	Sucesión	Mala < de 50%
21	Mónica	2758	Bosque montano	Regular 50 - 75%
22	Mónica	2874	Bosque montano	Buena > 75%
23	Mónica	3189	Páramo	Buena > 75%
24	Curitroje	2499	Pastizal	Regular 50 - 75%
25	Curitroje	2684	Bosque montano	Buena > 75%
26	Curitroje	2870	Bosque montano	Buena > 75%
27	Curitroje	3024	Bosque montano	Buena > 75%
28	Curitroje	2588	Bosque montano	Buena > 75%
29	Curitroje	2760	Bosque montano	Buena > 75%
30	Curitroje	3044	Páramo	Buena > 75%
31	Curitroje	3145	Páramo	Buena > 75%

### ANEXO 3

#### Clases texturales de la Subcuenca Malacatos

N	PESO DE LA	LECTURA	LECTURA	TEMPERATURA	LECTURA	LECTURA	% MS	% Ao	% Ac	% Lo	CLASE
MUESTRA	MUESTRA (gr)	PRIMERA	SEGUNDA		PRIMERA	SEGUNDA					TEXTURAL
Nam 1	50	24	9	22,1	24,76	9,76	50	50	20	30	Franco
Nam 2	50	27	6	22,2	27,77	6,77	56	44	14	42	Franco
Nam 3	50	22	11	22,1	22,76	11,76	46	54	24	22	Franco arcillo arenoso
Nam 4	50	26	7	22,3	26,81	7,81	54	46	16	38	Franco
Nam 5	50	33	14	22,2	33,77	14,77	68	32	30	38	Franco arcilloso
Nam 6	50	26	7	21,9	26,68	7,68	53	47	15	38	Franco
Nam 7	50	19	8	21,8	19,63	8,63	39	61	17	22	Franco arenoso
Nam 8	50	25	4	22,3	25,83	4,83	52	48	10	42	Franco
Nam 9	50	26	11	22,3	26,81	11,81	54	46	24	30	Franco
Nam 10	50	24	6	22,1	24,74	6,74	49	51	13	36	Franco
Nam 11	50	19	5	21,9	19,67	5,67	39	61	11	28	Franco arenoso
Nam 12	50	10	2	22,2	10,79	2,79	22	78	6	16	Areno francosa
Nam 13	50	31	13	21,8	31,65	13,65	63	37	27	36	Franco arcilloso
Mon 14	50	29	11	22,1	29,74	11,74	59	41	23	36	Franco
Mon 15	50	17	6	22,1	17,74	6,74	35	65	13	22	Franco arenoso
Mon 16	50	24	9	22,2	24,79	9,79	50	50	20	30	Franco
Mon 17	50	16	6	21,9	16,68	6,68	33	67	13	20	Franco arenoso
Mon 18	50	26	12	22,4	26,85	12,85	54	46	26	28	Franco arcilloso
Cur 19	50	27	9	22,4	27,85	9,85	56	44	20	36	Franco
Mon 20	50	27	9	22,2	27,77	9,77	56	44	20	36	Franco
Mon 21	50	17	4	22,1	17,76	4,76	36	64	10	26	Franco arenoso
Mon 22	50	23	8	22,2	23,77	8,77	48	52	18	30	Franco
Mon 23	50	13	3	22,5	13,90	3,90	28	72	8	20	Franco arenoso
Cur 24	50	27	4	22,2	27,77	4,77	56	44	10	46	Franco
Cur 25	50	14	5	22,4	14,86	5,86	30	70	12	18	Franco arenoso
Cur 26	50	21	5	22,1	21,74	5,74	43	57	11	32	Franco arenoso
Cur 27	50	17	4	22,5	17,90	4,90	36	64	10	26	Franco arenoso

Cur 28	50	29	7	22,3	29,83	7,83	60	40	16	44	Franco
Cur 29	50	25	8	22,5	25,90	8,90	52	48	18	34	Franco
Cur 30	50	19	5	22,6	19,92	5,92	40	60	12	28	Franco arenoso
Cur 31	50	26	8	22,4	26,86	8,86	54	46	18	36	Franco

## ANEXO 4

## Tablas de precipitaciones mensuales

La Argelia 1998

Año	Meses	Precipitación	p2	IFM
1998	Enero	40,4	1632,16	1,92
1998	Febrero	101,9	10383,61	12,20
1998	Marzo	136,2	18550,44	21,80
1998	Abril	88,5	7832,25	9,20
1998	Mayo	51,2	2621,44	3,08
1998	Junio	75,2	5655,04	6,64
1998	Julio	49,5	2450,25	2,88
1998	Agosto	35,7	1274,49	1,50
1998	Septiembre	31,4	985,96	1,16
1998	Octubre	115,5	13340,25	15,67
1998	Noviembre	86,4	7464,96	8,77
1998	Diciembre	39,2	1536,64	1,81
		851,1		86,63

La Argelia 2001

Año	Meses	Precipitación	p2	IFM
2001	Enero	82,8	6855,84	7,30
2001	Febrero	116,6	13595,56	14,47
2001	Marzo	68,3	4664,89	4,96
2001	Abril	69,8	4872,04	5,18
2001	Mayo	63,7	4057,69	4,32
2001	Junio	98,4	9682,56	10,30
2001	Julio	81,2	6593,44	7,02
2001	Agosto	52,1	2714,41	2,89
2001	Septiembre	42	1764	1,88
2001	Octubre	33,5	1122,25	1,19
2001	Noviembre	133	17689	18,82
2001	Diciembre	98,3	9662,89	10,28
		939,7		88,62

La Argelia 2005

Año	Meses	Precipitación	p2	IFM
2005	Enero	46,4	2152,96	2,35
2005	Febrero	134,5	18090,25	19,71
2005	Marzo	173,6	30136,96	32,83
2005	Abril	157,6	24837,76	27,06
2005	Mayo	33	1089	1,19
2005	Junio	79	6241	6,80
2005	Julio	15,3	234,09	0,26
2005	Agosto	13,4	179,56	0,20
2005	Septiembre	18,1	327,61	0,36
2005	Octubre	86,2	7430,44	8,10
2005	Noviembre	62,5	3906,25	4,26
2005	Diciembre	98,3	9662,89	10,53
		917,9		113,62

Cajanuma

Año	Meses	Precipitación	p2	IFM
1998	Enero	157,9	24932,41	11,37
1998	Febrero	214,2	45881,64	20,93
1998	Marzo	218,9	47917,21	21,85
1998	Abril	281,5	79242,25	36,14
1998	Mayo	91,9	8445,61	3,85
1998	Junio	233,13	54349,5969	24,79
1998	Julio	201,7	40682,89	18,55
1998	Agosto	112,7	12701,29	5,79
1998	Septiembre	117,9	13900,41	6,34
1998	Octubre	227,8	51892,84	23,67
1998	Noviembre	195,5	38220,25	17,43
1998	Diciembre	139,5	19460,25	8,88
		2192,63		199,59

Cajanuma

Año	Meses	Precipitación	p2	IFM
2001	Enero	174,1	30310,81	13,15
2001	Febrero	298,5	89102,25	38,65
2001	Marzo	162,6	26438,76	11,47
2001	Abril	195,3	38142,09	16,54
2001	Mayo	126,8	16078,24	6,97
2001	Junio	343,3	117854,89	51,12
2001	Julio	283	80089	34,74
2001	Agosto	149,42	22326,3364	9,68
2001	Septiembre	121,4	14737,96	6,39
2001	Octubre	107,1	11470,41	4,98
2001	Noviembre	168,11	28260,9721	12,26
2001	Diciembre	175,9	30940,81	13,42
		2305,53		219,36

Cajanuma

Año	Meses	Precipitación	p2	IFM
2005	Enero	203	41209	16,60
2005	Febrero	341,9	116895,61	47,10
2005	Marzo	285,5	81510,25	32,84
2005	Abril	368,7	135939,69	54,77
2005	Mayo	127,5	16256,25	6,55
2005	Junio	274,4	75295,36	30,34
2005	Julio	70,2	4928,04	1,99
2005	Agosto	230	52900	21,31
2005	Septiembre	103,7	10753,69	4,33
2005	Octubre	126,6	16027,56	6,46
2005	Noviembre	164,2	26961,64	10,86
2005	Diciembre	186,3	34707,69	13,98
		2482		247,13

**ANEXO 5**

**Análisis de materia orgánica**

**MATERIA ORGÁNICA**

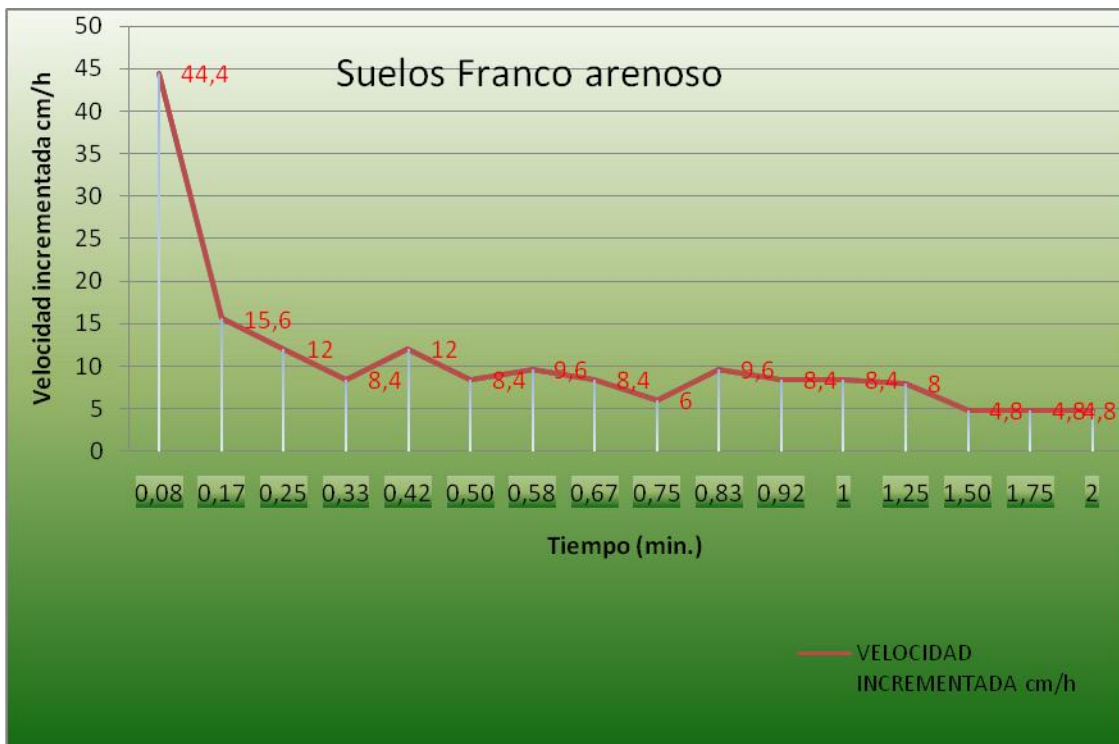
<b>FILA 1</b>	<b>ml. (gastados)</b>	<b>Peso (gr.)</b>	<b>BLANCO</b>	<b>F</b>	<b>M.O. (cálculo)</b>
Nam 1	9,6	0,25	10,2	0,42	0,68
Nam 2	6,2	0,25	10,2	0,42	4,52
Nam 3	9,5	0,25	16	0,31	5,42
Nam 4	7,5	0,25	10,2	0,42	3,05
Nam 5	9,9	0,25	10,2	0,42	0,34
Nam 6	5,1	0,25	10,2	0,42	5,76
Nam 7	5,7	0,25	16	0,31	8,59
Nam 8	5,6	0,25	16	0,31	8,67
Nam 9	9,1	0,25	10,2	0,42	1,24
Nam 10	9,9	0,25	16	0,31	5,09
Nam 11	8,6	0,25	10,2	0,42	1,81
Nam 12	8,4	0,25	10,2	0,42	2,03
Nam 13	9,3	0,25	10,2	0,42	1,02
Mon 14	11,8	0,25	16	0,31	3,50
Mon 15	8,6	0,25	16	0,31	6,17
Mon 16	7,5	0,25	16	0,31	7,09
Mon 17	15,3	0,25	16	0,31	0,58
Mon 18	8,0	0,25	10,2	0,42	2,49
Cur 19	6,4	0,25	16	0,31	8,00
Mon 20	12,6	0,25	16	0,31	2,83
Mon 21	8,7	0,25	16	0,31	6,09
Mon 22	12,7	0,25	16	0,31	2,75
Mon 23	13,5	0,25	16	0,31	2,08
Cur 24	6,3	0,25	16	0,31	8,09
Cur 25	10,7	0,25	16	0,31	4,42
Cur 26	6,5	0,25	16	0,31	7,92
Cur 27	12,7	0,25	16	0,31	2,75
Cur 28	14,9	0,25	16	0,31	0,92
Cur 29	14,1	0,25	16	0,31	1,58
Cur 30	11,9	0,25	16	0,31	3,42
Cur 31	10,4	0,25	16	0,31	4,67



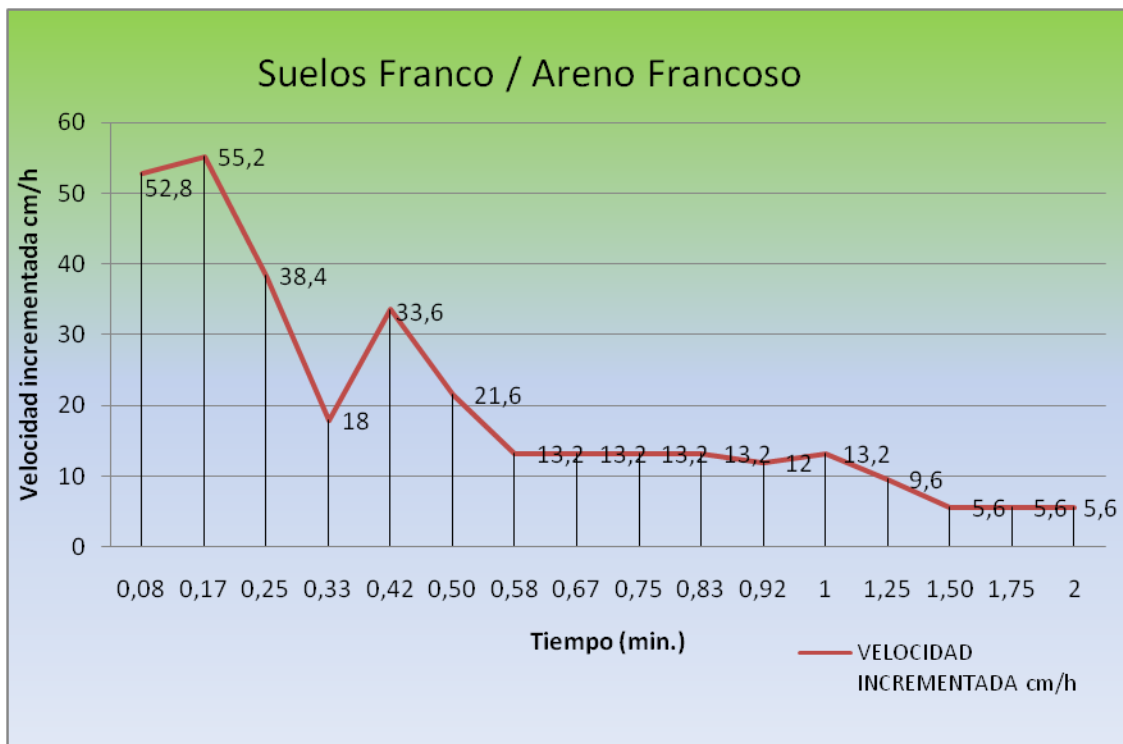
## ANEXO 6

**Datos de permeabilidad para los diferentes tipos de suelos de la Subcuenca Malacatos.**

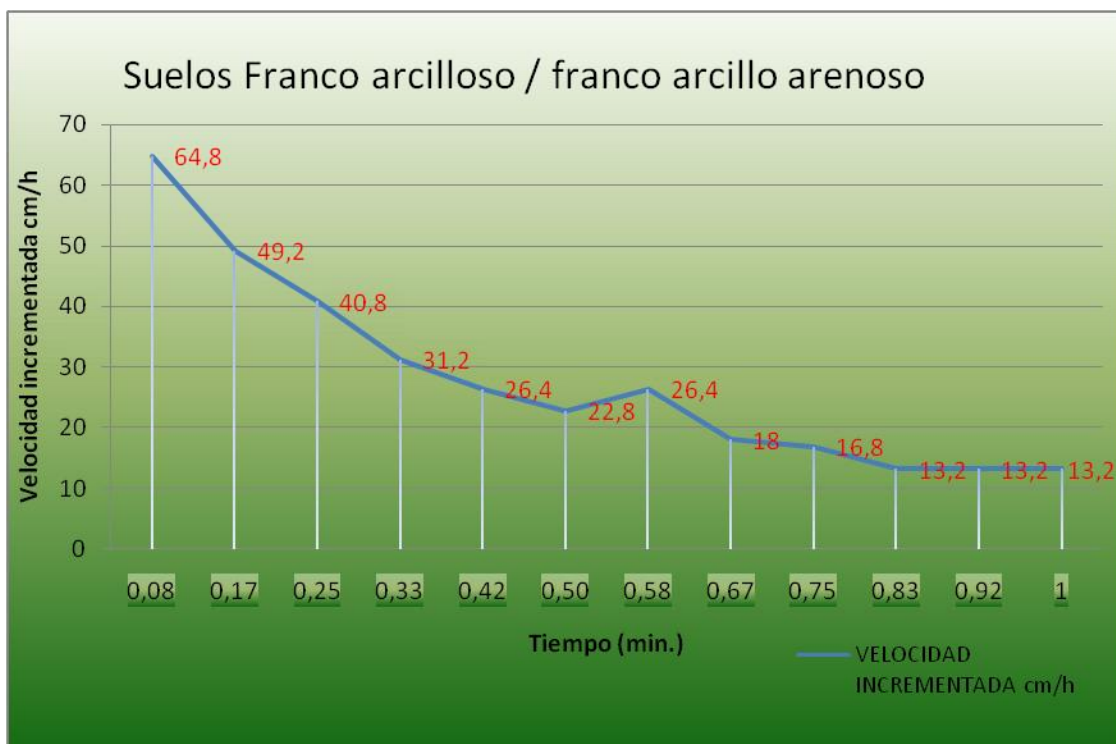
TIEMPO (min.)	TIEMPO horas	$\Delta$ TIEMPO (horas)	Y anillo.(cm.)	Volumen cm <sup>3</sup>	VELOCIDAD INCREMENTADA cm/h
5	0,08	0,08	3,7	653,85	44,4
5	0,08	0,17	1,3	229,73	15,6
5	0,08	0,25	1	176,72	12
5	0,08	0,33	0,7	123,70	8,4
5	0,08	0,42	1	176,72	12
5	0,08	0,50	0,7	123,70	8,4
5	0,08	0,58	0,8	141,37	9,6
5	0,08	0,67	0,7	123,70	8,4
5	0,08	0,75	0,5	88,36	6
5	0,08	0,83	0,8	141,37	9,6
5	0,08	0,92	0,7	123,70	8,4
5	0,08	1	0,7	123,70	8,4
15	0,25	1,25	2	353,43	8
15	0,25	1,50	1,2	212,06	4,8
15	0,25	1,75	1,2	212,06	4,8
15	0,25	2	1,2	212,06	4,8



TIEMPO (min.)	TIEMPO horas	$\Delta$ TIEMPO (horas)	Y anillo.(cm.)	Volumen cm <sup>3</sup>	VELOCIDAD INCREMENTADA cm/h
5	0,08	0,08	4,4	777,55	52,8
5	0,08	0,17	4,6	812,89	55,2
5	0,08	0,25	3,2	565,49	38,4
5	0,08	0,33	1,5	265,07	18
5	0,08	0,42	2,8	494,80	33,6
5	0,08	0,50	1,8	318,09	21,6
5	0,08	0,58	1,1	194,39	13,2
5	0,08	0,67	1,1	194,39	13,2
5	0,08	0,75	1,1	194,39	13,2
5	0,08	0,83	1,1	194,39	13,2
5	0,08	0,92	1	176,72	12
5	0,08	1	1,1	194,39	13,2
15	0,25	1,25	2,4	424,12	9,6
15	0,25	1,50	1,4	247,40	5,6
15	0,25	1,75	1,4	247,40	5,6
15	0,25	2	1,4	247,40	5,6



TIEMPO (min.)	TIEMPO horas	$\Delta$ TIEMPO (horas)	Y anillo.(cm.)	Volumen cm <sup>3</sup>	VELOCIDAD INCREMENTADA cm/h
5	0,08	0,08	5,4	954,26	64,8
5	0,08	0,17	4,1	724,53	49,2
5	0,08	0,25	3,4	600,83	40,8
5	0,08	0,33	2,6	459,46	31,2
5	0,08	0,42	2,2	388,77	26,4
5	0,08	0,50	1,9	335,76	22,8
5	0,08	0,58	2,2	388,77	26,4
5	0,08	0,67	1,5	265,07	18
5	0,08	0,75	1,4	247,40	16,8
5	0,08	0,83	1,1	194,39	13,2
5	0,08	0,92	1,1	194,39	13,2
5	0,08	1	1,1	194,39	13,2
15	0,25	1,25		0,00	0
15	0,25	1,50		0,00	0
15	0,25	1,75		0,00	0
15	0,25	2		0,00	0



**ANEXO 7**

**Factor de Erodabilidad de la Subcuenca Malacatos**

Nº	% Arena	%Arcilla	%Limo	Producto de fracciones	M.O. (cálculo)	Permeabilidad	Estructura	Mannaerts
Nam 1	50	20	30	6478	0,68	2	3	0,070
Nam 2	44	14	42	7474	4,52	2	3	0,055
Nam 3	54	24	22	5850	5,42	4	2	0,039
Nam 4	46	16	38	7120	3,05	2	3	0,062
Nam 5	32	30	38	4963	0,34	4	2	0,056
Nam 6	47	15	38	7163	5,76	2	3	0,044
Nam 7	61	17	22	6846	8,59	4	3	0,030
Nam 8	48	10	42	8162	8,67	2	3	0,028
Nam 9	46	24	30	5834	1,24	2	3	0,059
Nam 10	51	13	36	7486	5,09	2	3	0,051
Nam 11	61	11	28	7862	1,81	4	3	0,085
Nam 12	78	6	16	8914	2,03	2	4	0,093
Nam 13	37	27	36	5286	1,02	4	2	0,057
Mon 14	41	23	36	5856	3,50	2	3	0,047
Mon 15	65	13	22	7486	6,17	4	3	0,050
Mon 16	50	20	30	6467	7,09	2	3	0,031
Mon 17	67	13	20	7505	0,58	4	3	0,090
Mon 18	46	26	28	5522	2,49	4	2	0,052
Cur 19	44	20	36	6449	8,00	2	3	0,025
Mon 20	44	20	36	6473	2,83	2	3	0,057
Mon 21	64	10	26	8188	6,09	4	3	0,055
Mon 22	52	18	30	6798	2,75	2	3	0,061
Mon 23	72	8	20	8501	2,08	4	3	0,090
Cur 24	44	10	46	8182	8,09	2	3	0,032
Cur 25	70	12	18	7792	4,42	4	3	0,065
Cur 26	57	11	32	7836	7,92	4	3	0,039
Cur 27	64	10	26	8136	2,75	4	3	0,081
Cur 28	40	16	44	7114	0,92	2	3	0,076
Cur 29	48	18	34	6757	1,58	2	3	0,068
Cur 30	60	12	28	7773	3,42	4	3	0,072
Cur 31	46	18	36	6769	4,67	2	3	0,048

## ANEXO 8

### Resultados de la longitud de la pendiente

	$\lambda$	D cn	% pendiente	pendiente	m	° sexagesimales	$\lambda/22,13$	L	sen	S	LS
Nam 1	341	120	35	0,35	0,59	19,29	15	5	0,33	5	25
Nam 2	395	120	30	0,30	0,57	16,7	18	5	0,29	4	20
Nam 3	269	120	45	0,45	0,61	21,8	12	5	0,37	6	30
Nam 4	830	280	34	0,34	0,59	18,78	38	8	0,32	5	40
Nam 5	354	160	45	0,45	0,61	21,8	16	5	0,37	6	30
Nam 6	616	200	32	0,32	0,58	17,74	28	7	0,30	5	35
Nam 7	634	280	44	0,44	0,62	23,74	29	8	0,40	6	48
Nam 8	587	280	48	0,48	0,63	25,64	27	8	0,43	7	56
Nam 9	487	160	33	0,33	0,58	18,26	22	6	0,31	5	30
Nam 10	454	200	44	0,44	0,62	23,74	21	6	0,40	6	36
Nam 11	757	360	48	0,48	0,63	25,64	34	9	0,43	7	63
Nam 12	693	400	58	0,58	0,65	30,11	31	9	0,50	8	72
Nam 13	468	280	60	0,60	0,65	30,96	21	7	0,51	8	56
Mon 14	409	160	39	0,39	0,60	21,31	18	6	0,36	6	36
Mon 15	546	240	44	0,44	0,62	23,74	25	7	0,40	6	42
Mon 16	774	400	52	0,52	0,64	27,47	35	10	0,46	7	70
Mon 17	679	240	35	0,35	0,59	19,29	31	8	0,33	5	40
Mon 18	438	320	73	0,73	0,67	36,13	20	7	0,59	9	63
Cur 19	550	200	36	0,36	0,59	19,8	25	7	0,34	5	35
Mon 20	437	160	37	0,37	0,60	20,3	20	6	0,35	5	30
Mon 21	813	280	34	0,34	0,59	18,78	37	8	0,32	5	40
Mon 22	906	280	31	0,31	0,57	17,22	41	8	0,30	5	40
Mon 23	559	200	36	0,36	0,59	19,8	25	7	0,34	5	35
Cur 24	343	160	47	0,47	0,62	25,17	15	6	0,43	7	42
Cur 25	612	240	39	0,39	0,60	21,31	28	7	0,36	6	42
Cur 26	353	200	57	0,57	0,65	29,68	16	6	0,24	4	24
Cur 27	574	200	35	0,35	0,59	19,29	26	7	0,33	5	35
Cur 28	469	200	43	0,43	0,61	23,27	21	7	0,40	6	42
Cur 29	544	280	51	0,51	0,63	27,02	25	8	0,45	7	56
Cur 30	826	400	48	0,48	0,63	25,64	37	10	0,43	7	70
Cur 31	336	280	83	0,83	0,69	39,69	15	6	0,64	10	60

$\lambda$  = longitud de la pendiente

D cn = distancia de las curvas de nivel

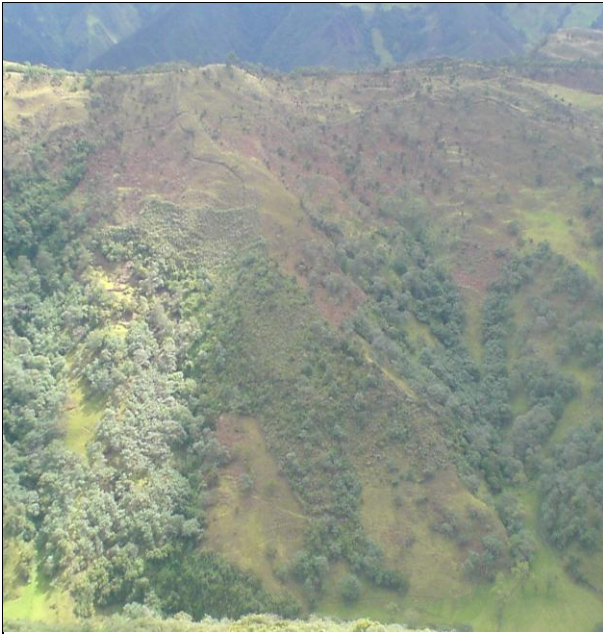
## ANEXO 9

## Resultados Lámina potencialmente almacenable de la Subcuenca Malacatos

Código	Densidad aparente (g/cm3)	Capacidad campo %	Punto Marchitez p. %	Densidad del agua a 20° C g/cm3	Profundidad mm	cc-pmp	Da/Dh h20	Lamina mm
Nam 1	1,06	18	10	0,9982	200	8,31	1,06	18
Nam 2	1,15	17	9	0,9982	200	7,92	1,15	18
Nam 3	1,25	19	10	0,9982	200	8,58	1,25	22
Nam 4	1,01	17	9	0,9982	200	8,07	1,01	16
Nam 5	1,17	24	13	0,9982	200	10,43	1,17	24
Nam 6	0,77	17	9	0,9982	200	8,02	0,77	12
Nam 7	1,32	16	8	0,9982	200	7,52	1,32	20
Nam 8	0,86	15	8	0,9982	200	7,26	0,87	13
Nam 9	1,23	20	11	0,9982	200	9,01	1,23	22
Nam 10	1,45	16	8	0,9982	200	7,60	1,45	22
Nam 11	0,86	14	7	0,9982	200	6,82	0,86	12
Nam 12	1,08	10	4	0,9982	200	5,22	1,09	11
Nam 13	0,80	22	12	0,9982	200	9,94	0,80	16
Mon 14	1,19	21	11	0,9982	200	9,30	1,20	22
Mon 15	0,91	14	7	0,9982	200	6,87	0,92	13
Mon 16	1,29	18	10	0,9982	200	8,32	1,29	21
Mon 17	0,63	14	7	0,9982	200	6,75	0,63	9
Mon 18	0,79	21	11	0,9982	200	9,26	0,80	15
Cur 19	1,08	19	10	0,9982	200	8,65	1,08	19
Mon 20	1,30	19	10	0,9982	200	8,63	1,30	22
Mon 21	0,99	13	6	0,9982	200	6,41	0,99	13
Mon 22	0,80	17	9	0,9982	200	7,98	0,80	13
Mon 23	0,92	11	5	0,9982	200	5,81	0,92	11
Cur 24	1,22	16	8	0,9982	200	7,45	1,22	18
Cur 25	1,12	13	6	0,9982	200	6,37	1,13	14
Cur 26	0,98	15	8	0,9982	200	7,05	0,98	14
Cur 27	1,26	13	7	0,9982	200	6,46	1,26	16
Cur 28	0,92	18	10	0,9982	200	8,38	0,92	15
Cur 29	1,04	18	10	0,9982	200	8,23	1,05	17
Cur 30	0,86	14	7	0,9982	200	6,91	0,86	12
Cur 31	0,57	18	10	0,9982	200	8,32	0,57	9

ANEXO 10

Imágenes de deslizamientos dentro de la Subcuenca Malacatos



Suelos erosionados y deslizamientos



## ANEXO 11

### Intervención dentro de la Reserva de Biósfera Podocarpus





ANEXO 12

Datos de Campo

Fecha	Código del lugar	Coordenadas (UTM):		Altitud: GPs	Profundidad cm	Pendiente %	Forma de pendiente	Uso del suelo	Posición en el paisaje	Estado del clima:	Clima del día:	Influencia humana:	Condición vegetación:
		X	Y										
09/04/2008	Nam 1	9553255	17700662	2220	0-20	12% 23°	Concava	Pastizales	Baja-pendiente	lluvioso, wc4	Parcialmente nub	Aplicación MO	Regular 50 - 75%
09/04/2008	Nam 2	9553465	17701445	2486	0-20	29% 57°	Recta	Pastizales, Arbustos	Recta	lluvioso, wc4	Parcialmente nub	Quemas	Mala < de 50%
09/04/2008	Nam 3	9552502	17700773	2275	0-20	19% 35°	Recta	Pastizales	Media pendiente	lluvioso, wc4	Soleado	Aplicación MO	Regular 50 - 75%
09/04/2008	Nam 4	9552588	17701845	2530	0-20	19% 35°	Concava	Pastizales, Arbustos	Alta pendiente	lluvioso, wc4	Parcialmente nub	No influye	Mala < de 50%
12/04/2008	Nam 5	9551595	17700755	2214	0-20	12% 22°	Concava	Pastizales	Baja-pendiente	lluvioso, wc4	Parcialmente nub	Aplicación MO	Regular 50 - 75%
24/04/2008	Nam 6	9551330	17701371	2413	0-20	20% 36°	Recta	Pastizales	Alta pendiente	Ausencia, wc2	Parcialmente nub	Aplicación MO	Regular 50 - 75%
28/08/2008	Nam 7	9551446	17702365	2342	0-20	21% 37°	Recta	Pastizales	Alta pendiente	Ausencia, wc3	Soleado	Aplicación MO Terraceo	Mala < de 50%
08/03/2008	Nam 8	9551804	17703344	2702	0-20	23% 42°	Concava	Arbustos	Corona-cresta	lluvioso, wc4	Soleado	No influye	Buena > 75%
12/04/2008	Nam 9	9550514	17700597	2260	0-20	21% 38°	Concava	Pastizales	Baja-pendiente	lluvioso, wc4	Parcialmente nub	Aplicación MO	Regular 50 - 75%
12/04/2008	Nam 10	9550497	17701362	2515	0-20	29% 55°	Recta	Plantación de árboles	Alta pendiente	lluvioso, wc4	Parcialmente nub	Aplicación MO	Regular 50 - 75%
24/04/2008	Nam 11	9550179	17702359	2765	0-20	12% 22°	Concava	Bosque Natural	Alta pendiente	lluvioso, wc4	Parcialmente nub	No influye	Regular 50 - 75%
24/04/2008	Nam 12	9550124	17703482	2899	0-20	21% 37°	Recta	Bosque Natural, arbustos	Corona-cresta	lluvioso, wc4	Parcialmente nub	No influye	Regular 50 - 75%
29/03/2008	Nam 13	9550535	17704612	3066	0-20	25% 49°	Concava	Arbustos	Corona-cresta	lluvioso, wc4	Soleado	No influye	Buena > 75%
07/06/2008	Mon 14	9549373	17700570	2267	0-20	40% 88°	Recta	Pastizales	Inicio de la pendiente	Ausencia, wc2	Parcialmente nub	Aplicación MO	Regular 50 - 75%
23/07/2008	Mon 15	9549354	17701461	2379	0-20	19% 35°	Concava	Pastizales	Media pendiente	lluvioso, wc4	Parcialmente nub	Aplicación MO	Regular 50 - 75%
23/07/2008	Mon 16	9549341	17702301	2370	0-20	12% 22°	Concava	Bosque Natural, pastizal	Media pendiente	lluvioso, wc4	Parcialmente nub	Aplicación MO	Regular 50 - 75%
23/07/2008	Mon 17	9549326	17703375	2561	0-20	21% 37°	Recta	Bosque natual	Alta pendiente	lluvioso, wc4	Parcialmente nub	No influye	Buena > 75%

24/04/2008	Mon 18	9549438	17704331	3115	0-20	36% 74°	Recta	Bosque Natural, arbustos	Corona-cresta	lluvioso, wc4	Parcialmente nub	No influye	Buena > 75%
06/06/2008	Cur 19	9548599	17700649	2304	0-20	12% 22°	Recta	Pastizales	Inicio de la pendiente	Ausencia, wc2	Parcialmente nub	Aplicación MO	Regular 50 - 75%
06/06/2008	Mon 20	9548654	17701247	2442	0-20	25% 48°	Concava	Pastizales	Alta pendiente	Ausencia, wc2	Soleado	Aplicación MO	Mala < de 50%
05/08/2008	Mon 21	9548608	17702534	2758	0-20	21% 37°	Recta	Bosque natural	Corona-cresta	lluvioso, wc4	Parcialmente nublado	No influye	Regular 50 - 75%
05/08/2008	Mon 22	9548653	17703401	2874	0-20	25% 49°	Recta	Bosque natural	Corona-cresta	lluvioso, wc4	Parcialmente nublado	No influye	Buena > 75%
05/08/2008	Mon 23	9548288	17704202	3189	0-20	40% 88°	Recta	Bosque natural	Corona-cresta	lluvioso, wc4	Parcialmente nublado	No influye	Buena > 75%
07/06/2008	Cur 24	9547545	17700586	2499	0-20	16% 28°	Recta	Pastizales	Alta pendiente	Ausencia, wc2	Parcialmente nub	Aplicación MO	Regular 50 - 75%
07/08/2008	Cur 25	9547753	17701542	2684	0-20	19% 35°	Conve xa	Bosque natural	Corona-cresta	lluvioso, wc4	Parcialmente nub, llovisna	No influye	Mala < de 50%
07/08/2008	Cur 26	9547566	17702509	2870	0-20	12% 22°	Concava	Bosque Natural	Corona-cresta	lluvioso, wc4	Parcialmente nub, llovisna	No influye	Buena > 75%
07/08/2008	Cur 27	9547512	17703238	3024	0-20	23% 42°	Concava	Bosque Natural	Corona-cresta	lluvioso, wc4	Parcialmente nub, llovisna	No influye	Buena > 75%
07/06/2008	Cur 28	9546501	17701375	2588	0-20	22% 41°	Recta	Bosque Natural, arbustos	Corona-cresta	Ausencia, wc2	Parcialmente nub	No influye	Buena > 75%
25/09/2008	Cur 29	9546276	17702342	2760	0-20	30% 58°	Recta	Bosque Natural	Alta pendiente	Ausencia, wc2	Nublado, sombrío	No influye	Buena > 75%
26/09/2008	Cur 30	9546440	17703688	3044	0-20	31% 60°	Recta	Bosque Natural	Corona-cresta	Ausencia, wc2	Nublado, sombrío	No influye	Buena > 75%
27/09/2008	Cur 31	9545418	17703545	3145	0-20	28% 55°	Recta	Bosque Natural	Corona-cresta	Ausencia, wc2	Nublado, sombrío	No influye	Buena > 75%

