

CAPÍTULO I

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

1.1. Manejo de Cuencas hidrográficas

Una cuenca es el área de terreno que drena hacia una corriente en un lugar dado. En realidad es el área de captación de agua en un río. Asimismo se lo considera como una unidad homogénea que es factible de ser manejada bajo un concepto ambiental-sistemático (Espinoza, D. 2005).

Por otro lado, una cuenca hidrográfica está considerada como una unidad dinámica, donde el factor primordial es el antrópico y la interrelación de todos los recursos bio-físicos que interactúan. Los elementos que componen una cuenca, son todos los recursos naturales, principalmente el hombre y su relación con el medio ambiente, como la vegetación, fauna, agua, suelo, microorganismos, etc.

El manejo integral de cuencas hidrográficas es un conjunto de esfuerzos que tienden a identificar y aplicar opciones técnicas, socioeconómicas y legales, para establecer una solución a la problemática causada por el deterioro y mal uso de los recursos naturales renovables, así como de las cuencas hidrográficas, y lograr un mejor desarrollo de la sociedad humana y mejorar la calidad de vida de su población (Francke 2002).

1.2. Conservación de suelos

Muchas son las propiedades del suelo que influyen en la conservación del suelo y el agua, algunas de ellas merecen especial atención, ya que afectan el control de la erosión. Entre las más representativas tenemos (Montes, M. 1999).

1.2.1. Topografía

La topografía se refiere a la superficie de la tierra descrita en cuatro categorías:

- La geo forma principal, que se refiere a la morfología de todo el paisaje;
- La posición del sitio dentro el paisaje;

- La forma de la pendiente;
- El ángulo de la pendiente.

El grado, tamaño y forma de los declives, influyen en la concentración o en la dispersión de las fuerzas erosivas.

1.2.2. Profundidad

La profundidad de los límites superiores e inferiores de cada horizonte del suelo se reporta en centímetros; se mide desde la superficie (incluyendo cobertura orgánica y mineral) del suelo hacia abajo.

Los suelos profundos favorecen el almacenamiento de agua y el desenvolvimiento de las plantas, por lo que existe mayor protección contra la erosión.

1.2.3. Permeabilidad

Está asociada a la capacidad de infiltración del suelo, que determina cuánto de agua de lluvia almacena y cuanto se pierde por escorrentía. La velocidad con la que el fluido atraviesa el suelo depende de tres factores básicos: porosidad, la densidad del fluido considerado, afectada por su temperatura.

1.2.4. Fertilidad

La fertilidad del suelo es la resultante de numerosos componentes físicos químicos y biológicos, que por su parte depende del medio (suelo clima) y, por otra, de la actividad humana.

Un buen desarrollo de las plantas proporciona una mayor protección al suelo contra la erosión.

1.3. Los bosques y la erosión

1.3.1. Bienes y servicios que presta el bosque

Los bosques son la fuente de una amplia gama de bienes y servicios. Los árboles y los arbustos de los bosques cumplen con una importante función en la vida diaria de las comunidades rurales al ser una fuente de madera, leña, alimentos, forraje, aceites, gomas, resinas, látex y productos farmacéuticos, asimismo contribuyen a la conservación de suelos y el agua, además de ser lugares que tienen valores estéticos, culturales y religiosos (FAO 2000).

1.3.2. Cobertura vegetal

La rotación de cultivos y el uso de cultivos de cobertura para incrementar la materia orgánica del suelo reducen la erosión y devuelven la diversidad biológica al suelo. La rotación de diferentes cultivos, con sus diferentes sistemas radiculares, optimiza la red de canales de las raíces, propiciando el incremento de la penetración del agua y la capacidad del suelo para el mantenimiento de la humedad, así como una mayor disponibilidad de agua para uso del cultivo, en suelos más profundos (Benítez y Castellanos 2003).

Una cobertura permanente del suelo, ya sea con residuos vegetales o cultivos en desarrollo, protege la superficie del efecto negativo del impacto de las gotas de lluvia. Esto reduce la formación de costras y la susceptibilidad a la erosión, y mejora la porosidad en la superficie. También reduce la pérdida directa de agua por la evaporación que se produce en las capas superiores del suelo. Asimismo mantiene un suministro de alimento continuo para los organismos del suelo, desde microbios hasta gusanos. Esto incrementa la infiltración y la percolación del agua a través del suelo, conduciendo a un mejor desarrollo radicular y al crecimiento del cultivo. También se reduce la descomposición de la materia orgánica y la consecuente pérdida de humedad por evaporación (Benítez y Castellanos 2003).

1.4. Componentes del ciclo hidrológico

1.4.1. Erosión

La erosión es aquel proceso de desprendimiento y arrastre de partículas del suelo provocado por la acción del agua, del viento o su remoción en masa (Miranda 1992). Y es ocasionado por los agentes del intemperismo (Anaya et al. 1991).

(Menke 1999), afirma que la erosión es un proceso de desgaste que ocurre naturalmente, no obstante, es casi siempre magnificado por la acción del hombre. Sin embargo, la pérdida de suelo y la escorrentía no son fenómenos naturales inevitables.

(Torres 1981). Asimismo la erosión natural por lo general tiene tasas anuales muy bajas que difícilmente se perciben, estas tasas se aceleran cuando el hombre afecta los factores que controlan la erosión; básicamente la manipulación de la cobertura vegetal (Calvo 1996), tal como se observa en la Figura 1.

Figura 1. Impacto de la gota de lluvia sobre suelo desnudo, a) Caída b) Impacto



a)



b)

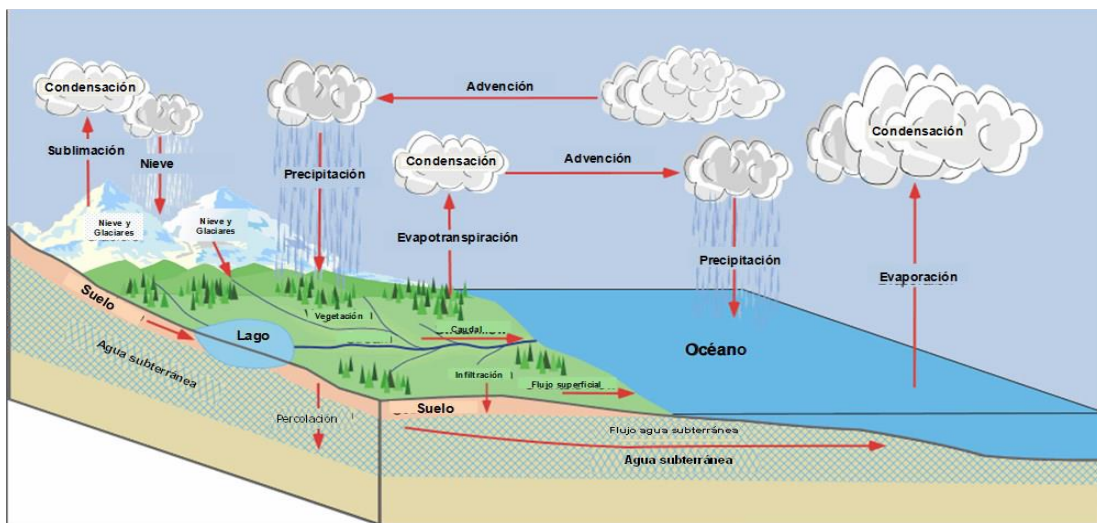
1.4.2. Ciclo hidrológico

Es la sucesión de etapas que atraviesa el agua al pasar de la tierra a la atmósfera y volver a la tierra: evaporación desde el suelo, mar o aguas continentales, condensación de nubes, precipitación, acumulación en el suelo o masas de agua y reevaporación.

El ciclo hidrológico involucra un proceso de transporte re circulatorio e indefinido o permanente, este movimiento permanente del ciclo se debe fundamentalmente a dos causas: la primera, el sol que proporciona la energía para elevar el agua (evaporación); la segunda, la gravedad terrestre, que hace que el agua condensada descienda (precipitación y escurrimiento).

Chereque, 1989, se entiende como el conjunto de cambios que experimenta el agua en la naturaleza, tanto en su estado (sólido, líquido y gaseoso) como en su forma (superficial, sub-superficial, subterránea, etc.).

Representación del Ciclo Hidrológico



1.4.3. Infiltración

La infiltración es el proceso y la cuantificación de la penetración de aguas desde la superficie hacia el interior del terreno. Cuando el nivel freático está a cierta profundidad, la parte de infiltración, que se convierte en recarga, tarda un tiempo más o menos largo en llegar al acuífero. El agua en tránsito descendente es una recarga en tránsito o agua de percolación (Alcalá 2005). Resumiendo, es el paso del agua de la superficie del suelo hacia el interior de éste, a través de poros y espacios vacíos, por acción de la gravedad o capilaridad (Calvo 1996).

La infiltración en una cuenca es de interés, debido a que la capacidad de retener mayor o menor cantidad de agua, permite tener un mayor o menor escurrimiento superficial que alimenta a una red hidrológica. La infiltración depende fundamentalmente de la textura y la estructura del suelo y se mide por la velocidad con que penetra en el suelo. En suelos arenosos la velocidad de infiltración es más rápida que en suelo arcillosos. Además, existe escaso movimiento lateral, contrariamente a los suelos arcillosos donde el movimiento lateral es predominante. Los suelos francos presentan condiciones intermedias en la velocidad de infiltración (Calvo 1996).

1.4.4. Erosión hídrica

Es la remoción del suelo por lluvia y escorrentía superficial. Dicho de otro modo, es la acción de desprendimiento de las partículas de suelo y su transporte por el agua de escurrimiento sobre el terreno (Calvo 1996).

La erosión hídrica representa también un costo neto para la agricultura que significa una pérdida de tierra productiva, así como de nutrientes y materia orgánica que deben sustituirse con fertilizantes; lo cual obliga a los productores a intensificar los chaqueos y reducir los bosques para producir la cantidad necesaria a sus necesidades y/o ambiciones.

Miranda (2002), realizó una tipificación de los factores que afectan el proceso de erosión hídrica, los cuales son: a) intensidad y frecuencia de las lluvias, b) relieve del terreno, c) longitud de pendiente, d) cobertura vegetal, e) tipo y el manejo del suelo.

1.5. Tipos de erosión hídrica

1.5.1. Escurrimiento difuso

(Yanchapaxi y pozo 1993) explica que al hacer parte del agua producida por la lluvia, esta se junta o se propaga en la superficie del suelo para producir un “escurrimiento difuso” es el desplazamiento corto que experimenta las partículas que son transportadas por el agua superficial, aun en terrenos de pendientes suaves y con cobertura vegetal. Cuando el escurrimiento difuso es intenso y corresponde a un arrastre uniforme casi

imperceptible de delgadas capas de suelo, bajo la acción de un manto de agua, se conoce como escurrimiento laminar.

1.5.2. Erosión Laminar

Esta erosión es la remoción más o menos uniforme de una capa o lamina delgada de la superficie del suelo. Se trata de una erosión más bien inapreciable porque la cantidad total de tierra removida durante un aguacero es generalmente pequeña. Sin embargo con el pasar de los años, esta cantidad de tierra removida puede ser considerable. Es peligrosa debido que al ser poco perceptible, pasa desapercibida, pero cuando se descubre este tipo de erosión ya existe un desgaste considerable de las capas superficiales del suelo.

1.5.3. Erosión en surcos

La erosión en surcos se observa cuando el agua de lluvia se reúne en algunos lugares y arrastra el suelo formando zanjillas a lo largo de la pendiente del terreno. El desprendimiento y transporte de partículas de suelo son mayores en la erosión en surcos que en la erosión laminar. La formación de surcos es frecuente en suelos medianamente susceptibles a la erosión.

1.5.4. Erosión en cárcavas

También llamada erosión en zanjones, es cuando el agua reunida en los surcos es tanta que arrastra cada vez más tierra, formando zanjales de gran tamaño generalmente ramificadas y profundas, que no permite corregir fácilmente con maquinaria. Esta erosión ocurre cuando el escurrimiento en una determinada pendiente aumenta en volumen o velocidad lo bastante para socavar profundamente el suelo.

1.5.5. Erosión regresiva o remontante

Una vez formado los surcos, las cárcavas y derrumbes, la concentración del agua que escurre por ellos hace retroceder la erosión, aumentando su tamaño y longitud hacia arriba hasta llegar en ocasiones a la coma de las laderas, a todos estos factores acompaña también un proceso de equilibrio del relieve del terreno (Bergsma 1998).

1.5.6. Terracetas o pata de vaca

(Goitia 1985) Son los cambios en zigzag dejados en los suelos descubiertos por la intervención humana (potreros) en diferentes grados de pendiente, donde se produce por el paso continuo del ganado (sobre pastoreo). El continuo pastoreo y el peso de los animales compactan el suelo, destruye la cobertura vegetal y origina la aparición de surcos y cárcavas.

1.5.2. Erosión eólica

Miranda (2002), La erosión eólica es causada por el viento en terrenos sueltos, localizado en regiones con variaciones altas de temperatura, poca precipitación y predominio de vientos fuertes.

Sostiene que la acción del viento ejercida sobre la superficie del suelo, depende de la fuerza y velocidad con que sopla. Sin embargo, son otros, también los factores que facilitan esta forma de erosión: La velocidad del viento, el uso de herramientas inadecuadas, el excesivo laboreo del suelo, sobrepastoreo, cortinas rompe vientos.

1.6. Factores que originan la erosión hídrica

- **Factores climáticos**

Tienen un papel importante en la erosión hídrica, siendo las precipitaciones, tanto en su intensidad como en su duración, el elemento desencadenante del proceso. Cuando el volumen o la intensidad de la lluvia son altos y superiores a la velocidad de infiltración del suelo, se genera escurrimiento y consecuentemente la erosión.

- **La topografía**

Es el proceso a través de la pendiente. Debiéndose considerar su longitud, magnitud y forma. Frecuentemente el grado origina problemas más agudos que la longitud de la pendiente. En cuanto a la longitud de la pendiente, el efecto es variable de acuerdo a la naturaleza de la precipitación, a la cobertura vegetal y a la textura del suelo. La mayor

longitud de la pendiente hace aumentar el espesor de la lámina de escurrimiento o carga hidráulica.

1.7. Factores que inciden sobre la erosión

Figuroa (1979) expone que los factores que controlan el sistema de erosión (del suelo) son: la erosionabilidad del suelo, la erosividad del agente erodante, el tipo de cobertura vegetal y los diversos factores socioeconómicos.

- **Erodabilidad**

La erodabilidad es la resistencia del suelo al desprendimiento y transporte por parte de los agentes erosivos. Esta resistencia depende de factores intrínsecos del suelo, aunque se ve afectada por la posición topográfica, la pendiente y la cantidad de disturbio de la estructura del suelo que produce el hombre.

Se considera que la erodabilidad varía en función de la textura del suelo, la estabilidad de los agregados, la resistencia al corte, la capacidad de infiltración y el contenido de materia orgánica y cementantes químicos del suelo. La textura del suelo afecta a la erodabilidad del mismo, según su resistencia al transporte por peso y/o rugosidad. La resistencia al corte del suelo es una medida de su cohesión y resistencia a las fuerzas cortantes que ejercen la gravedad, los líquidos en movimiento y las cargas mecánicas. La capacidad de infiltración del suelo está relacionada con el tamaño, estabilidad y forma de los poros en el perfil.

- **Erosividad**

La erosividad está definida como la capacidad potencial que tiene la lluvia para causar erosión. La forma más adecuada de expresar la erosividad de la lluvia ha sido un índice basado en la energía cinética de la misma; de tal forma, la erosividad de una lluvia sería en función de su intensidad y duración, y de la masa, diámetro y velocidad de las gotas de ésta.

Las gotas de lluvia compactan la superficie del suelo y las salpicaduras y el flujo del agua desprenden partículas del mismo, estos procesos pueden sellar las superficies, con

lo que disminuye la tasa de infiltración del agua en el suelo. Si cae más lluvia de la que puede infiltrarse en el referido suelo, se producen escorrentías. Kirkby (1998).

1.8. Modelo USLE

El modelo USLE o ecuación universal de la pérdida de suelo es un modelo cuantitativo empírico que ayuda a calcular o predecir el estado actual de la erosión del suelo de los suelos calculado la pérdida que estos tienen en su tiempo, espacio y características específicas dadas. Toma de datos de ingreso varios factores que intervienen en procesos de erosión como la erodabilidad, erosividad, las características de relieve, el uso de suelos y prácticas de conservación que mediante algoritmos estiman la pérdida de suelo en toneladas por año (Wischmeier, 1978).

Este modelo es bastante usado en la actualidad por su fácil aplicabilidad y resultados puntuales que pueden ser llevados a cálculos con herramientas SIG. Para la estimación de gran cantidad de eventos de riesgo y fenómenos naturales.

1.8.1 Erodabilidad (factor K)

Erodabilidad es la susceptibilidad del suelo a la erosión, es junto con el factor de erosividad el más importante para el cálculo de la pérdida de suelo. Su cálculo requiere de mucho tiempo, equipos y mano de obra haciendo de este factor altamente costoso por lo que se busca modelar la erodabilidad a partir de relaciones estadísticas, resultados experimentales y propiedades del suelo (Echeverría et al, 2006).

La erodabilidad (factor K) para el cálculo en el modelo USLE se estima utilizando el nomograma de erodabilidad de suelo que combina el tamaño de las partículas de suelo, el porcentaje de materia orgánica, el código de la estructura de suelo y la clase de permeabilidad obtenidas del perfil de suelo. Donde la ecuación de (Wischmeier) dice:

$$K = 1,313 * [2,1 P^{10-4} * (12-MO) * M^{1,4} + 3,25 * (S-2) + 2,5 * (p-3)] / 100$$

Donde:

MO: Contenido en materia orgánica (%)

S: código de la estructura del suelo

P: código de permeabilidad

M: factor dado por el producto de la suma de los porcentajes de limo y arena muy fina con la suma de los porcentajes de arena y limo. En términos matemáticos M corresponde a (% limo+ arena muy fina) * (100 - % arcilla).

1.8.2. Longitud de inclinación de pendientes (factor L)

La longitud de la pendiente se entiende como la distancia existente desde el origen de un punto hasta el punto en donde la gradiente se reduce y la deposición comienza o el escurrimiento llega a concentrarse en un canal.

La inclinación de la pendiente se refiere a la gradiente que existe en la pendiente siendo que a mayor inclinación existe una mayor erosión. (Antezana, 2001)

Las fórmulas utilizadas para el cálculo de los factores son los siguientes: Para L

$$L = \left(\frac{\lambda}{22,13} \right)^m$$

Donde:

L= factor longitud de pendiente

λ = Longitud de pendiente en metros, de manera horizontal no la paralela a la superficie del suelo

22,13= Longitud en metros de la parcela estándar de la EUPSR

M= exponente que depende de la pendiente.

1.8.3. Grado de pendiente (factor S)

El segundo factor topográfico sobre la erosión y está relacionado con el grado de la pendiente (S) del terreno, este factor refleja la influencia de esta última en la erosión, ya que el potencial de erosión incrementa con la pendiente. Se calcula mediante la fórmula.

$$S = 0,065 + 0,045s + 0,0065s^2$$

Donde

S= es la pendiente en porcentaje

1.8.4. Cobertura del suelo (factor C)

La cobertura del suelo (Factor C) para el modelo espacial USLE es el efecto de las prácticas de manejo en los suelos, se mide como el potencial existente de pérdida de suelo en un tiempo determinado. Para este cálculo es de mucha importancia la cobertura vegetal de la zona de estudio y el uso de suelo.

1.8.5. Coeficiente de erosividad (factor R)

Es un factor relacionado con el clima y se define como la capacidad de la lluvia para generar erosión, por tal motivo se denomina factor de erosividad el cual está relacionado con las condiciones climáticas del mismo. Para el cálculo de este factor se correlacionaran los datos de precipitación anual (P) con los valores R estimados, utilizando la información de la intensidad de la lluvia disponible (Cortes, 1991).

1.8.6. Coeficiente de erodabilidad (factor K)

Los suelos son susceptibles a erosionarse debido a las partículas que lo componen, de la materia orgánica, la permeabilidad, la estructura, en particular del tamaño de los complementos. Debido a la carencia de datos para la evaluación de este factor, (FAO 1980) propone una metodología donde el factor K es calculado con base a la textura de la superficie.

1.9. Efecto de la cobertura vegetal

El papel más relevante de la vegetación es la intercepción de las gotas de lluvia, evitando que la energía cinética de las mismas se disipe en el suelo. La eficacia de la cobertura de plantas para reducir la erosión depende de la altura y continuidad de la cubierta vegetal aérea, de la densidad de la cobertura en el suelo y de la densidad de las raíces. Además de interceptar la lluvia, la cobertura de plantas disipa la energía del agua de escurrimiento y del viento, produce rugosidad para el flujo y, por lo mismo, reduce su velocidad.

La cobertura de plantas juega un papel determinante en la reducción de la erosión, siempre y cuando cubra una porción grande de la superficie del suelo.

Los bosques son los más efectivos en el control de la erosión, aunque también un pastizal muy denso puede tener la misma efectividad. Para que haya una protección adecuada debe haber, por lo menos, un 70% de cobertura superficial, pero se puede tener una protección razonable con un 40% de cobertura.

La tierra desnuda y arable es la más susceptible a la erosión hídrica y se puede perder grandes cantidades de suelo con una tormenta o durante una estación lluviosa.

1.9.1. Índices de vegetación

Los índices de vegetación como aquellas medidas radiométricas adimensionales, que funcionan como indicadores de la abundancia relativa y actividad de la vegetación verde, incluyendo también indicaciones relativas al índice de área foliar (LAI), el porcentaje de cubierta vegetal verde, el contenido en clorofila, la biomasa verde, o la radiación activa fotosintéticamente absorbida. A lo largo de décadas se han ido proponiendo nuevos índices espectrales para el estudio de la vegetación, fruto de ello es el gran número de expresiones que se pueden encontrar en la literatura especializada.

Todas las formulaciones de los índices de vegetación son presentadas en su adaptación para ser calculados con datos procedentes del sensor Landsat-8 de la NASA.

Para el cálculo del NDVI, se obtiene su diferencia normalizada. Sus valores oscilan en el intervalo -1, +2, donde valores crecientes mayores que 0 denotan aumento de la vegetación y valores negativos son representativos de agua o nieve, y superficies sin vegetación.

Para la obtención de NDVI se desarrolló diversas técnicas para estudiar las maneras cualitativas y cuantitativas del estado de la vegetación a partir de medidas espectrales obtenidas por satélites.

Existe una variedad de Índices de Vegetación que han sido desarrollados para ayudar en el monitoreo de la vegetación. La mayoría de estos índices están basados en las

interacciones diferentes entre la vegetación y la energía electromagnética de las bandas del espectro rojo e infrarrojo.

1.10. Teledetección

La teledetección es una técnica aplicada, y como tal, muy dependiente del desarrollo tecnológico existente en cada momento. Las primeras experiencias de teledetección ocurrieron por el año 1859, cuando Gaspar de Tournachon obtuvo fotografías aéreas desde un globo. James Wallace hizo lo mismo al año siguiente sobre la ciudad de Boston y obtuvo una nueva perspectiva de la organización urbana. En los siguientes años se produjo un importante desarrollo de la fotografía aérea; J. Moore - Brabazon durante la primera guerra mundial (1915) mejoró lo que actualmente conocemos como cámara fotográfica (las tomaba desde un avión).

1.10.1. Sistema de información geográfica

(G. Monroy, M. Cortes y C. Reyes junio 2005 México) Desde hace aproximadamente tres décadas comenzaron a desarrollarse lo que ahora se conoce con el nombre de Sistemas de Información Geográfica (SIG), sin embargo, a la fecha es difícil pensar que existe una sola definición aceptada por todas las personas especialistas en este campo.

En general, las definiciones de los SIG contienen tres principales componentes, consideran que un SIG:

- Es un sistema computarizado que implica tanto hardware (computadora y periféricos de entrada y salida-digitalizadores, plotters e impresoras), como el software (programas que hacen funcionar la computadora y procedimientos o técnica apropiados para la implantación de tareas).
- Usa datos o información con referencia espacial o geográfica.
- Realiza tareas de administración de esos datos, así como ciertos análisis en base a ellos, incluyendo su captura, procesamiento y despliegue.

1.10.2. Geomática

(G. Monroy, M. Cortes y C. Reyes junio 2005 México) La técnica o herramienta tradicional para almacenar y presentar datos espaciales, así como para analizarlos, es el mapa. El mapa ha sido uno de los fundamentos importantes de los SIG. El mapa ha sido fuente de datos, así como también, una estructura para almacenarlos y un instrumento de análisis y de despliegue. Por ello, los SIG toman como una de sus bases la Geografía.

De esta interrelación comenzó a surgir el concepto de la Geomática. Sin embargo, muy rápido se detectó la necesidad de integrar también otras actividades científicas cuyos desarrollos habían estado aconteciendo de manera paralela y con significativos puntos de contacto, como son la Cartografía, la Geodesia y la Topografía.

La Geomática poco a poco comenzó a emerger con una conceptualización de integración sistémica más amplia: la Geomática como las Ciencias de los Sistemas de Información Geo-Espacial.

En la Geomática, a partir de la Geografía y los SIG, se integra la Cartografía, la Geodesia, la Topografía, la Fotogrametría, la Percepción Remota, el Tratamiento Digital de Imágenes, así como los Métodos de Sistemas y las Matemáticas requeridas para enfrentar la modelación y solución de los problemas geo-espaciales.

1.10.3. Programa espacial Landsat 8

Antes de 1972, la idea de utilizar datos de satélite para la vigilancia terrestre, la cartografía o la exploración era un concepto visionario. Hecho que da origen al programa Landsat, el cual se constituye en una serie de misiones de observación de la tierra por satélite gestionadas conjuntamente por la NASA y el Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS).

En la actualidad el programa se encuentra en su octava versión denominada “Landsat Data Continuity Mission” (LDCM) es el octavo satélite de observación de la serie Landsat, convirtiéndose de esta manera en el futuro de los satélites de observación de la tierra.

Este programa amplia, mejor y avanza en el registro de imágenes multiespectrales, manteniendo la misma calidad de sus siete predecesores.

1.10.4. Sensor Operational Land Imager (OLI)

El sensor *Operational Land Imager* (OLI) avanza en la tecnología de sensores Landsat, utilizando un enfoque demostrado ya por el sensor *Advanced Land Imager* ubicado en el satélite experimental de la NASA Observing- 1 (EO-1). En el comienzo los satélites Landsat estaban equipados con sensores "whiskbroom" los cuales empleaban espejos de exploración como instrumentos visión para barrer el campo espectral a través de un ancho de banda superficial y transmitir la luz a unos detectores. A diferencia del OLI, el cual utiliza un sensor del tipo "pushbroom" compuesto por una serie de baterías larga de detectores, con más de 7.000 detectores por banda espectral, alineados en su plano focal en su respectivo ancho de banda. El diseño del "pushbroom" lo hace un instrumento más sensible proporcionando una mejor información de la superficie terrestre con menos partes móviles.

Sus imágenes tienen una resolución espacial de 49 pies (15 m) pancromáticas y 98 pies (30 metros) (incluido el visible, infrarrojo cercano y el infrarrojo de onda corta) a lo largo de 115 millas (185 kilómetros) de ancho de imagen, cubriendo así amplias zonas de la tierra mientras que proporciona una resolución suficiente como para distinguir las características tales como centros urbanos, granjas, bosques y otros tipos de cubiertas del suelo.

1.10.5. Worldclim

Se utiliza los datos del clima Worldclim versión 1,4 release 3, que contiene los datos de la red global del conjunto de datos históricos del clima (GHCN), las normales climatológicas (CLINO), la base de datos climático global (FAOCLIM), la base de datos reunida en el centro internacional de agricultura tropical (CIAT) y bases de datos adicionales de America Latina y el Caribe (R-HYDRONET), el altiplano

En Peru y Bolivia (INTECSA), los países nórdicos de Europa (Nordklim).

CAPÍTULO II

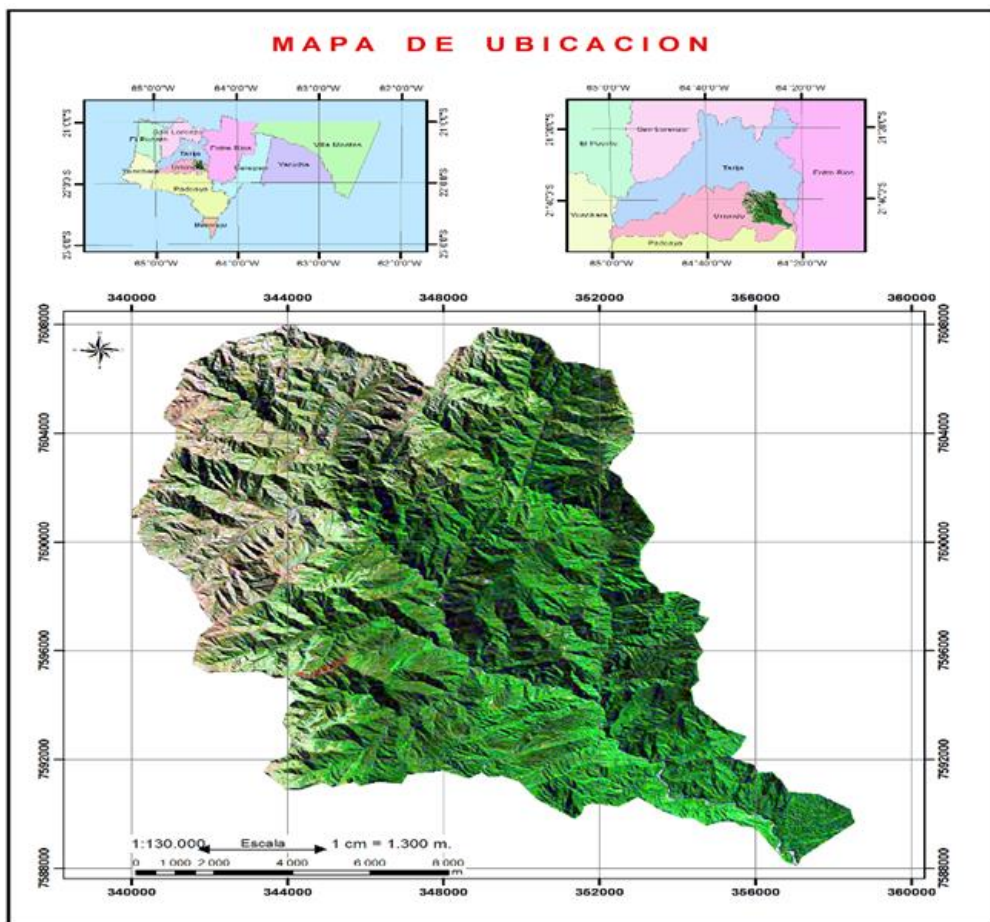
DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

2. Ubicación

La sub-cuenca de Papachacra, municipio de Uriondio; Primera Sección de la provincia Avilés. Donde la comunidad de Papachacra se encuentra ubicada al este del municipio de Uriondo y colinda al noroeste la comunidad de Laderas Centro; al oeste con la comunidad de Laderas Sud; al este con la Ventolera.

Cuenta con un camino carretero principal: La Ventolera – Laderas Sud - Papachacra y otro camino principal de herradura La Ventolera – Laderas Sud – Papachacra – Tipas.

Figura 2; mapa de ubicación de la sub cuenca Papachacra.



2.1. Características biofísicas

2.1.1. Aspectos físico naturales

El área se caracterizan principalmente por material coluvial son de moderadamente a muy pedregoso las pendientes son inclinadas (5-10cm) en algunos sectores son moderadamente escarpados (5-30%) ,los suelos en general tienen profundidad efectiva y radicular de muy superficial a moderadamente profundos el drenaje es de clase bien drenado y el drenaje externos presenta escurrimiento rápido , en la superficie se observa mucha piedra ,grava y poco afloramiento rocoso existe erosión hídrica , laminar y cárcavas el tipo de suelos se presenta de franco arcillosa a arcillosa (PDM de Municipio de Uriondo 2007-2011).

2.1.2. Paisaje

La sub cuenca presentan paisaje de Montañas Alta con Disección Fuerte se divide en los subpaisajes de Pendiente Superior, Pendiente Media y Pendiente Inferior. Esta unidad de terreno presenta fisonomía de cuerpo masivo con cimas variables y divisorias de aguas poco discernibles; en algunos sectores es frecuente la existencia de movimientos en masa de material meteorizado por acción de la gravedad (PDM de Municipio de Uriondo 2007-2011).

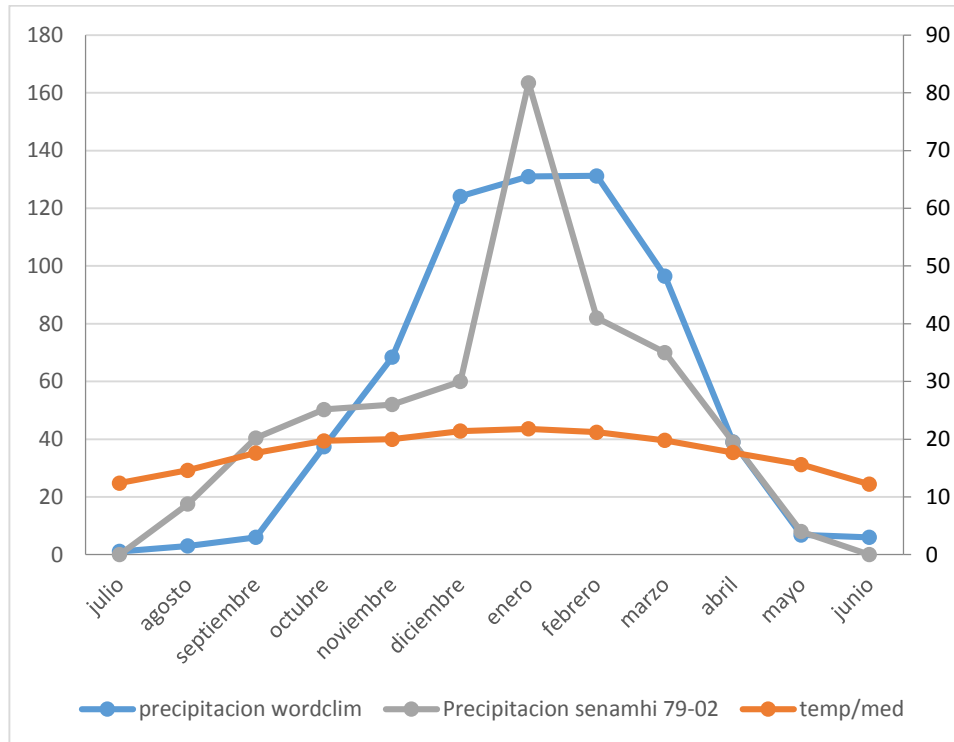
2.1.3. Clima

El clima es fresco, con una temperatura media anual de 17.5°C. Que varía de temperaturas medias anuales entre (16 - 20°C) y precipitaciones más abundantes (600 mm anuales). Las lluvias mayormente son de origen orográfico siendo principalmente por la condensación de las masas húmedas provenientes del sur este, esto presentan precipitaciones altas en la zona montañosa, El periodo de lluvias es entre los meses de octubre a marzo, y Las precipitaciones mínimas son entre abril a julio (PDM de Municipio de Uriondo 2007-2011).

El periodo de lluvias es entre los meses de octubre a marzo, este periodo es considerado de mucha importancia porque coincide con la época de siembra por que las familias aprovechan para dedicarse a la siembra.

Las precipitaciones mínimas son entre mayo a septiembre.

Figura 3; BALANCE HÍDRICO DE SUB CUENCA PAPACHACRA



2.2. Geología

2.2.1. Suelos

Los suelos en la mayor parte de la superficie, en general son muy superficiales, aunque en relieves con terracetos que conforman la extensión de las laderas, que son escasas áreas, son moderadamente profundos, ya que en estas existe un proceso de acumulación coluvial continuo (PDM de Municipio de Uriondo 2007-2011).

La profundidad efectiva y radicular de los suelos en su mayoría es muy superficial (5 – 10 cm), en escasos sectores es superficial (30 a 50 cm); el drenaje es de clase bien

drenado a algo excesivamente drenado, la permeabilidad o drenaje interno es moderadamente rápido y el drenaje externo presenta escurrimiento rápido, el perfil al momento de su evaluación presentaba humedad (PDM de Municipio de Uriondo 2007-2011).

2.2.2. Vegetación natural

la vegetación de esta zona componente al piso montano que se extiende desde los 2500 msnm hasta más de los 3000 msnm los ecosistemas que se caracterizan este piso ecológico son bosques y matorrales que en su mayoría están dominados por varias especies arbustivas siempre verde y arbóreas siempre verde y caducifolias de Pino de cerro , alisos lambran y aliso bravo género (*Podocarpus* , *Alnus*, *Mirica*), así como , también pasturas de gramínoideas de los géneros (*Stipa*, *Festuca* y *Deyeuxia*) que representan áreas importantes de pasturas (PDM de Municipio de Uriondo 2007-2011), ver resultados de factor C.

2.3. Uso del suelo

2.3.1. Medio económico social

Una de sus principales actividades económicas de la comunidad de Papachacra es la agricultura las cuales son la:

Papa (*Solanum tuberosum*): Especialmente en sus variedades Desire y Americana.

Maíz (*Zea mays*): Como única variedad el criollo. Arveja (*Pisum sativum*): Con la variedad “arvejón” (Municipio de Uriondo).

Donde también se dedican a la crianza de animales para su consumo o la venta para la obtención de ingresos económicos, donde los principales animales en la zona son.

Ganado Vacuno Criollo (*Bos taurus*), en una cantidad aproximada de 800 cabezas que en su mayoría son utilizadas para el trabajo en el campo, y las principales enfermedades por la que se ven afectados son el carbúnculo, tiropiasmosis, anaplasmosis y parásitos.

Ganado Ovino Criollo (*Ovis aries*), con 2.000 cabezas aproximadamente, este tipo de ganado es utilizado principalmente para el autoconsumo, siendo la principal enfermedad los parásitos.

Ganado caprino criollo (*Capra hircus*), 2000 cabezas aproximadamente que utilizadas para su consumo. Entre las principales enfermedades que presentan estos animales están los parásitos y el carbúnculo (PDM de Municipio Uriondo).

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3. Software

3.1. Materiales

En el presente trabajo se ha empleado la herramienta SIG ArcGis 10.3 donde se ha utilizado la siguientes aplicaciones: ArcMap, ArcToolbox, Spatial Analyst Tools, Data Management Tools, Analysis Tools.

3.1.1. Cartografía digital base utilizada

Para realizar este estudio se partió de información existente en diferentes capas digitales (formato shape) todas han sido posteriormente re proyectadas en el sistema de coordenadas WGS 84, UTM zona 20 S con el fin de homogenizar el sistema de proyección y poder trabajar.

Los materiales que el trabajo realizo:

- Imágenes satelitales Landsat 8
- Computadora
- Calculadora
- GPS (sistema de posicionamiento global)
- Material de gabinete

3.2. Metodología

3.2.1. Determinación del área de estudio

Para este estudio se realizó la delimitación de la sub cuenca Papachacra, con una superficie de 20.147 ha. Luego se procedió a realizar un corte de las imágenes satelitales 231_75 2011 y 231_75 2015 obtenidas en el Gabinete SIG en la UAJMS carrera Ing. Forestal.

3.3. Tipos de datos empleados en la elaboración de los mapas

3.3.1. Métodos para el procesamiento de imágenes satelitales

Para el estudio se realizó la delimitación de la sub-cuenca Papachacra mediante imágenes satelitales Landsat 8 usando las bandas 4,5,6, para la obtención del índice de vegetación con herramientas del Software Arcgis 10.3, debido a que es más representativo para el estudio, haciendo recortes de las imágenes satelitales obtenidas.

3.3.2. Información vectorial

La información se representa mediante puntos, líneas y polígonos, se almacena como una colección de coordenadas x, y. La ubicación de una característica puntual, pueden describirse con un solo punto x, y. Las características lineales, pueden almacenarse como un conjunto de puntos de coordenadas x y las características poligonales pueden almacenarse como un circuito cerrado de coordenadas.

3.3.3. Información raster

La información raster funciona a través de una retícula que permite asociar datos de una imagen; es decir, se puede relacionar paquetes de información a los píxeles de una imagen digitalizada, conocida como grid.

3.3.4. Slope (pendiente)

Identifica la pendiente (gradiente, o la tasa de cambio máximo en valor z) de cada celda de una superficie de 30 pixel.

3.3.5. Flow Direction (dirección del flujo)

Crea una trama de dirección del flujo de cada célula a su vecino más empinada ladera abajo.

3.3.6. Flow Accumulation (acumulación del flujo)

Crea una trama de flujo acumulado en cada celda. Un factor de peso, opcionalmente se puede aplicar la dirección del flujo de entrada de la trama.

La trama de entrada que muestra la dirección del flujo de salida de cada célula.

Para obtener los factores; LS, K, R y C, se realizó mediante la herramienta del ArcGis, Raster Calculator.

Donde también se calculó índices de vegetación (NDVI) con la combinación de bandas del Landsat 7 y Landsat 8.

3.3.7. Raster Calculator (calculadora raster)

Crea y ejecuta una sola expresión del Álgebra de mapas utilizando la sintaxis de Python en una interfaz similar a la calculadora, expresión de álgebra de mapas

La expresión se compone mediante la especificación de los insumos, los valores, los operadores y las herramientas a utilizar. Puede escribir la expresión directamente o utilizar los botones y controles para ayudar a crearlo.

La lista de capas y variables identifica los conjuntos de datos disponibles para su uso en la expresión de álgebra de mapas.

La trama de salida resultante de la expresión de álgebra de mapas.

3.3.8. Álgebra de mapas

Para calcular la pérdida de suelos por erosión hídrica es más común aplicar la ecuación universal de pérdida de suelo (USLE) usando la técnica de álgebra de mapas en el marco del Software ArcGis 10,3.

La técnica de álgebra de mapas en ArcGis, consiste en crear un mapa raster para cada uno de los componentes de la USLE; una vez creado los mapas, se realiza una multiplicación entre ellos. Esto se hace con la extensión Spatial Analyst de ArcGis por medio de uso de la herramienta Raster Calculator según ((Rivera-Toral *et al.*, 2012; López, 2011).

3.3.9. Análisis de las imágenes satelitales

Los métodos para la extracción de información a partir de imágenes satelitales se subdivide en dos grupos:

1. Extracción de la información que estará basada en el análisis interpretación de los datos conflictos en las características espectrales de imágenes satelitales.
2. Extracción de información basada en el tratamiento automático o semiautomático por parte del ordenador.

La interpretación visual de las imágenes satelitales, que se basa en la habilidad que presentan el intérprete para relacionar tonos, colores y patrones especiales que aparezcan en las imágenes con elementos del mundo real. Este tipo de interpretación se lleva a cabo mediante la superposición en la imagen donde se combinaron las imágenes satelitales.

La delimitación de elementos y áreas de interés para la interpretación (unidades de vegetación, de usos de suelo, geomorfológicas, litológicas,...)

3.3.10. Corrección geometría

A las imágenes satelitales se lo realizaron una georeferenciación en base a los puntos obteniendo para el estudio de erosión en la sub-cuenca Papachacra.

Grilla o códigos del Sensor Cbers y landsat 8

173-D 124,4 Cbers

173-D 124,5 Cbers

173-C 124,4 Cbers

173-C 124,5 Cbers

231,75 Landsat

Como resultados se obtiene una imagen tipo Raster, donde se representa con distintos colores que nos indicara la cobertura vegetal, suelos con coberturas vegetal media y la alta cobertura vegetal.

3.4. Metodología para el cálculo de riesgos de erosión

El proceso se realizó empleando las técnicas del SIG proceso de imágenes. Que permitió llegar a conclusiones a partir de la visualización y análisis de los mapas donde las combinaciones se realizaron su interpretación.

Para la obtención de los riesgos de erosión de las diferentes ubicaciones, las variables que se utilizaron para la vegetación serán el respectivo año de estudio al igual que el de la precipitación. Los mapas de geología, pendiente y suelos serán los mismos, ya que esas variables precisan mucho tiempo para su cambio significativo.

La clasificación del riesgo de erosión se identifica en Ton/ha/año; como se muestra en el siguiente cuadro una valoración numérica de 1 a 4.

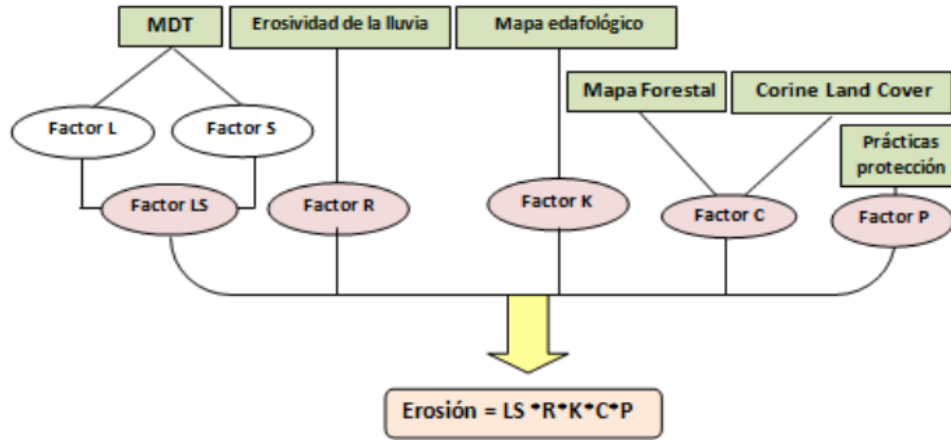
Tabla clasificación de grado de erosión fuente: FAO (1980)

Nº	Ton/ha/año	Grado de erosión
1	<10	Nula o ligera
2	10-50	Moderada
3	50-200	Alta
4	>200	Muy alta

Para implementar la Ecuación Universal de Perdida de Suelo (USLE) en ArcGis se calculó por separado cada uno de los factores que la integran mediante una serie de operaciones, dando como resultado una capa raster para cada factor. Esto ha permitido operar con todas las capas resultantes para obtener la cartografía de riesgo de erosión esperada.

El siguiente esquema muestra el modo de procesamiento llevado a cabo:

Figura 4; Esquema metodológico aplicación de USLE



3.4.1. Factor R de erosividad de lluvia

Para el cálculo del índice de Erosividad de la lluvia propuesto por (Wischmeier) se necesita contar con información pluviométrica muy específica muy difícil de obtener porque que numerosos autores han señalado la gran dificultad que existe para poder aplicar en algunos territorios este índice donde las estaciones meteorológicas son escasa y está irregularmente distribuida, por lo cual se procedió a trabajar con el world climate para obtener datos más precisos para la sub cuenca Papachacra.

Para resolver este problema, se han propuesto algunos índices adicionales que permiten calcular de forma más sencilla el índice de erosividad de la lluvia: como son el índice de agresividad climática de Fournier (1960) que muestra una alta correlación con la cantidad de sedimentos arrastrados por escorrentía. (Antonio Jordán 2000) y el índice modificado de Fournier (IFM) propuesto por Arnoldous en 1980 que después del índice R es el más utilizado. La expresión matemática para determinar el factor R es la siguiente:

$$EI_{30} = (Ec)(I_{30})$$

Donde

EI_{30} índice de erosividad para un evento en MJ mm/ha h

E_c energía cinética total de la lluvia en MJ/ha

I_{30} intensidad máxima de la lluvia en 30 minutos en mm/h

$$L = \left(\frac{\lambda}{22,13} \right)^m$$

$$Y = 2.8959 X + 0.002983 X^2$$

Donde

Y representa el índice anual de erosividad de la lluvia, en MJmm/ha h

X representa la precipitación media anua, en mm.

Es importante aclarar que las estaciones meteorológicas son muy deficiente, existen muchas distancias entre ellas, por falta de estaciones se usó el wordlclim, para tener datos climáticos más precisos para el mapeo.

3.4.2. Factor K de erosionabilidad del suelo

Los valores de este factor, se suelen obtener a partir de medidas de trabajo de campo, cuando la zona de estudio es de grandes dimensiones donde es laborioso. Por ello se recurrió a un mapa de geología y la base de datos de ZONISIG (proyecto zonificación agroecológica y establecimientos de una base de datos y red de sistemas de información geográfica en Bolivia).

Una vez asignados los valores de K a la capa vectorial para cada tipo de suelo generando una capa raster que se muestra para cada pixel el valor de erodabilidad asignado.

Para elaborar el mapa se realizó usando datos de Zonisig del presente cuadro:

$$K = 1,313 * [2,1 P10-4 * (12-MO) * M1,14 + 3,25 * (S-2) + 2,5 * (p-3)] / 100$$

Donde:

MO: Contenido en materia orgánica (%)

S: código de la estructura del suelo

P: código de permeabilidad

M: factor dado por el producto de la suma de los porcentajes de limo y arena muy fina con la suma de los porcentajes de arena y limo. En términos matemáticos M corresponde a (% limo+ arena muy fina) * (100 - % arcilla).

Datos de Zonisig utilizados para obtener el coeficiente de erodabilidad (factor k)

coord_y	coord_X	LOC_PERFIL	ELEVACION	PENDIEN	tex	factor k
7604357	337739	2km AL SUDOESTE DE LA ESCUELA DE LADERAS SUD	1900	3	FYA-AF	0.62
7605092	338534	A 4km AL N. DE LA ESCUELA DE LADERA SUD	2000	40	FY-AF-A	0.80
7591489	353682	Ecia. PLANCHADA	1100	2	AF-A(-9)	0.75
7590498	352703	A 2.5km S.E. DE PERFIL 677	1222	4	F-FA-FY-FY	0.85
7590490	354637	PENDIENTE MEDIA SUBIENDO A CADAVERALES ANTIGUOS	1200	48	F-FA(-9)	0.85
7585540	352614	QUINTA FLIA. LIZARRAGA	1119	2	FA-AF(-9)	0.60
7587054	353007	PROPIEDAD JENARO PINO (TIPAS)	1181	3	F-FYA-FA-A	0.85
7586910	354818	DIRECCION TIPAS 2km SUR	1250	100		-9
7588738	355743	PROPIEDAD TEODORO SALDIAS	1129	3	F-FY-A(-9)	0.85
7595008	350613	ESTANCIA LAS CIMAS	1300	6	F-F	0.85
7593928	349653	2km OESTE PERFIL 685	1700	73	F(-9)	0.85
7594654	351785	CAM. PAPACHACRA - Rcho TIPAS AL N. DE MORRO PITADE	1250	100		-9
7601398	342963	2km NW ESCUELA PAPA CHACRA	2200	27	F-Y(-9)	0.85
7602358	343203	A 1.5km NORTE ESCUELA PAPACHACRA	2300	85	F(-9)	0.85
7601338	344073	ESCUELA PAPACHACRA PROPIEDAD DE FLORENCIO URZAGAST	2100	3	FA-F(-9)	0.60
7605583	339003	5km AL N DE LA ESCUELA DE LADERAS SUD	2042	12	F-FYL-A-FYA	0.85
7602699	338032	A 700mts AL OESTE DE LA ESCUELA DE LADERA SUD	1967	25	FYA-FA	0.62
7601293	338043	LADERA SUD	2000	8	F-Y-FYA	0.85
7600948	337548	LADERA SUD	1900	72	AF-A-A-A-A	0.75
7601683	336768	LADERA SUD	1800	12		-9

3.4.3. Factor LS de longitud y grado de la pendiente

Este factor combina dos parámetros distintos: la longitud de la pendiente (L) y su ángulo de inclinación(S). LS representa la relación de pérdida de suelo que se espera por unidad de área en una pendiente determinada x en relación con la pérdida correspondiente en una pendiente del 9% y de 22,13 metros de longitud.

$$LS = (x / 22.13) (0.065 + 0.045s + 0.0065 s^2)$$

Donde

x= longitud de la pendiente, en m

m= exponente que depende del grado de pendiente

s= pendiente del terreno, en %

Esta fórmula es la más utilizada en trabajos donde se implementa la USLE en un SIG para evaluar la pérdida de suelo sobre amplios territorios.

3.4.4. Factor C de índice de cobertura vegetal

Para la elaboración de este factor se utilizó un mapa de vegetación de la FAO de la zona, para la clasificación de los tipos de coberturas existentes en la sub cuenca.

Esto nos permitió asignar los valores de C con mayor precisión.

3.5. Índices de vegetación (NDVI)

Para la asignación de los valores del índice de vegetación, se utilizara la clasificación de NDVI de los diferentes años y se ponderara en función al grado de protección de la vegetación el suelo; es decir, índices cercanos a -1 valores de alto riesgo, e índices próximos a +1 valores de bajo riesgo.

3.5.1. Análisis de vegetación

Para analizar el cambio de vegetación, se realizaron con imágenes de los años 2011 y 2015 una vez corregida geométricamente y radiométricamente de las imágenes satelitales, se calculara los índices de vegetación de cada imagen, donde se utilizara la siguiente formula.

$$NDVI = \frac{TM4 - TM5}{TM4 + TM5}$$

Dónde: TM4 es banda 4 y TM5 es banda 5 Landsat 8

3.5.2. Análisis de cambio de uso

Para realizar el análisis de cambio de uso y cobertura del suelo en el periodo de estudio se usaran las reclasificaciones finales de los años 2011 y 2015. Para esto, es necesario utilizar un procedimiento que permitirá obtener numéricamente todas las posibles combinaciones de clases que resultara de la superposición de los años que nos interesa. Una opción practica es utilizar algebra de mapas para obtener esta combinación.

Los rasters reclasificados contienen los mismos valores para las respectivas clases, es necesario realizar algunas operaciones matemáticas para obtener todos los cambios posibles. Es decir, se necesita obtener nuevas categorías o valores que nos indiquen cuales son las áreas pasaron de vegetación natural a zona agrícola.

Para la comparación análisis de cambio de uso de cobertura del suelo serán de dos formas:

En primer lugar se realizara una comparación visual de los diferentes cambios. Para aplicar este método se valorara la nitidez de las imágenes, de diferente cobertura vegetal.

El siguiente método a utilizar es la comparación de los elementos de los componentes principales de las imágenes, el cual nos proporcionara información sobre el porcentaje de varianza vista en cada componente de cada imagen satelital.

3.5.3. Análisis de cambio de vegetación

Para el análisis de cambios de vegetación se tomaron imágenes del año 2011, porque en ese periodo hubo un incendio en la sub cuenca y para ello es necesario comparar con otra imagen, teniendo en cuenta que un intervalo de años para realizar un análisis de cobertura donde se trabajó con una imagen 2015.

Finalmente se crearon imagenes de tipo Rasters, y los índices de vegetación se obtuvo los NDVI 2011 - NDVI 2015.

3.5.4. Índices de vegetación NDVI 2011 y 2015

Para el presente estudio a digitalizar los índices de vegetación a través de la extensión Raster Calculator, dentro de la sub cuenca complementando toda la cartografía necesaria para el estudio. Para ello se utilizó el Software ArcGis 10.3 como herramientas utilizando las imágenes 231_75 2011 está como comparador solamente 231_75 2015 correspondiente a la zona de estudio.

Para obtener el índice de vegetación se procedió a combinar las imágenes Landsat_5_TM_2011_231_075_Banda4, Landsat_5_TM_2011_231_075_Banda5 y con las que se realizó la combinación de bandas con la formula.

$$\text{NDVI} = \text{float}(\text{band 4} - \text{band 5}) / \text{float}(\text{band 4} + \text{band 5})$$

Para los índices de vegetación 2015 se trabajaron con las imagines Landsat_8_TM_2015_231_075_Banda5, Landsat_8_TM_2015_231_075_Banda6 con la siguiente formula:

$$\text{NDVI} = \text{float}(\text{band 5} - \text{band 6}) / \text{float}(\text{band 5} + \text{band 6})$$

3.6. Variantes en la formula USLE (RUSLE)'

La RUSLE (USLE modificada) tiene el mismo propósito que la USLE aunque es más para cuencas y se formula igual pero incorpora importantes diferencias de la manera de estimar cada uno de los parámetros, así para los factor R se incorpora nuevos mapas de isoclietas para el índice de erodabilidad; K incorpora aspectos relacionados con procesos de heladas; LS aumenta la influencia de la longitud de la pendiente, al aumentar la longitud se incrementa notablemente la formación de regueros; C incluyen nuevos sub factores (García 2011).

Para la zona de estudio en la Cuenca Papachacra por falta de información climatológica como número días de heladas, se decidió no trabajar con el modelo RUSLE por no completar los factores del modelo. Así que se tomó en cuenta para este trabajo el modelo USLE que no considera el número de heladas.

3.7. Metodología no supervisada

Para el trabajo realizado no implica ningún conocimiento del área de estudio, por lo que intervención humana se centra más en la interpretación, de los resultados de nuestros mapas.

Para la elaboración de los mapas se procedió a la recopilación de información secundaria Zonisig, mapas de la FAO mapas de vegetación y suelo, e información primaria.

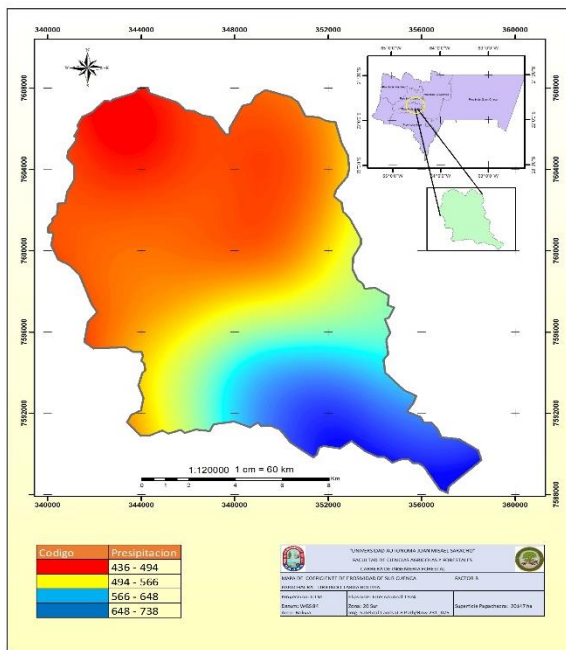
CAPÍTULO IV

RESULTADOS

El área de estudio con 20.147 ha que comprende a la sub cuenca de Papachacra tiene una forma moderadamente alargada y la red de drenaje escurre principalmente al río Tarija.

La cuenca presenta una longitud de 24 km y de ancho 14 km y presenta una pendiente media 7,75 %.

4.1.2. Factor R



El factor R define que los datos medidos de precipitación, las lluvias erosionan la superficie de suelo desnudo. Para ello se realizó un análisis climático a nivel regional donde se tomó datos de Wordclim para el estudio de la zona. Se obtuvo precipitaciones mayores 738 mm y datos menores de 436 mm, y su media anual de 587 mm para toda el área que influye la sub cuenca Papachacra estas precipitaciones pueden variar de acuerdo a cada año debido a los

fenómenos que puedan presentarse.

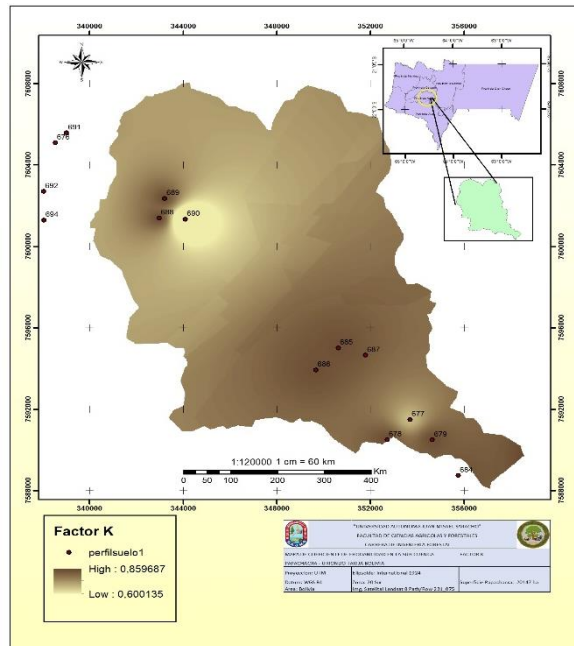
En la parte alta de la sub cuenca a una altura 2.800 m.s.n.m. obtiene una precipitación de 436 mm, en la parte baja de la sub cuenca con una altura de 1000 m.s.n.m. con una precipitación 737 mm.

La variación de precipitación que presenta la cuenca es de 302 mm. Entre la parte alta y baja de la cuenca.

4.1.2. Factor K

Con la base de los mapas edafológicos de FAO se encontró que en la zona de estudio se tiene los siguientes tipos de suelos:

Asociación Leptosol – Phaeozem con valores de 0,859687; esta asociación se localiza en paisajes de serranía media, los suelos dominantes son superficiales, también se encuentran suelos moderadamente profundos la textura varía de acuerdo de franco a franco arenoso, fertilidad moderada a baja y pH de 5,6.



Consociacion Leptosol con un valor de 0,600135; son suelos material original que pueden ser rocas tanto como materiales no consolidados con menos de 10% de tierra fina.

Éstos aparecen fundamentalmente en zonas altas o medias con una topografía escarpada y elevada pendiente.

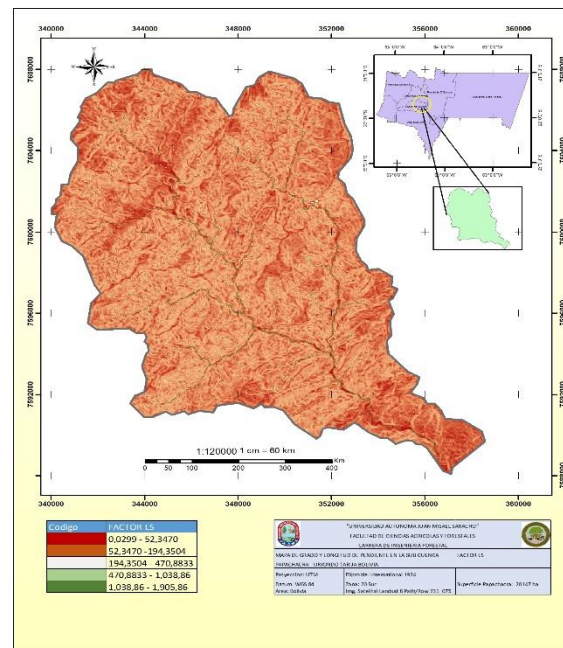
El mapa se ha obtenido en base de muestras de suelo por unidad de terreno. Una vez determinado el coeficiente se puede observar que en el mapa de factor k existen dos clases marcadas de valores predominando. Consociacion Leptosol en las partes alta y media de la sub cuenca, y asociación de Leptosol – Phaeozem en las parte baja.

4.1.3. Factor LS

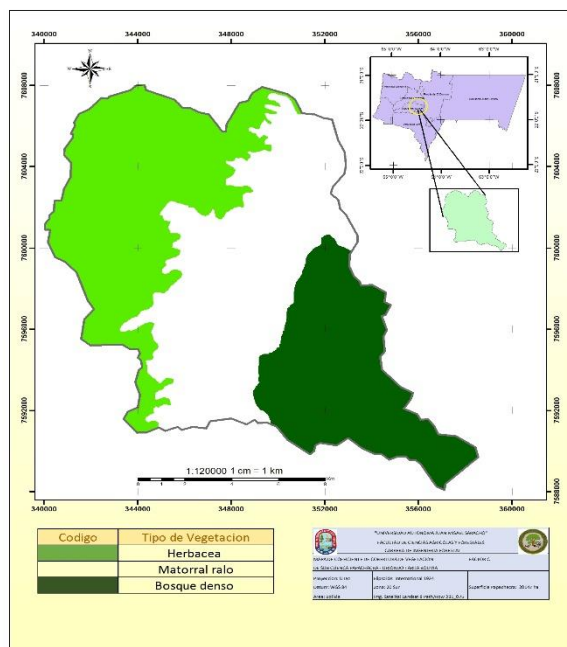
En el siguiente mapa se puede apreciar que el factor LS posee una gran predominancia de valores menores 0,0299 m, por lo que se puede indicar que al momento de realizar la ecuación de USLE la influencia de este factor.

Sin embargo, en el mapa existen sectores donde los valores son mayores a 1.905,87 m, aunque estos sectores son mínimos y se encuentran totalmente distantes a la

media son valores que existen en la realidad y que obviamente van a ser determinados para la obtención de la erosión de esta área.



4.1.4. Factor C



El factor C se estimó a partir de la teledetección, con el cálculo de índices de vegetación se estimaron la cobertura del suelo.

Los resultados obtenidos del factor C con las ecuaciones dan un mapa con porcentaje de cobertura vegetal y estos son reclasificados.

Como se puede apreciar en el mapa los valores obtenidos que va de 1 hasta 3, el valor más alto corresponde a la parte baja de la cuenca donde

podemos encontrar especies como ser; Cedro (*Cedrus*), nogal (*Junglans regia*), tipa (*Tipuana tipu*), lapacho (*Tabebuia*), y partes alta y media de la cuenca se encuentran alisos lambran y aliso bravo género (*Podocarpus*, *Alnus*, *Mirica*), caña brava (*Gynerium sagittatum*), salvia (*Salvia officinalis*), queñua (*Polylepis besseri*), pino de cerro (*Podocarpus parlatorei*) y así también como gramínoideas de los géneros (*Stipa*, *Festuca* y *Deyeuxia*) que representan áreas importantes de pasturas.

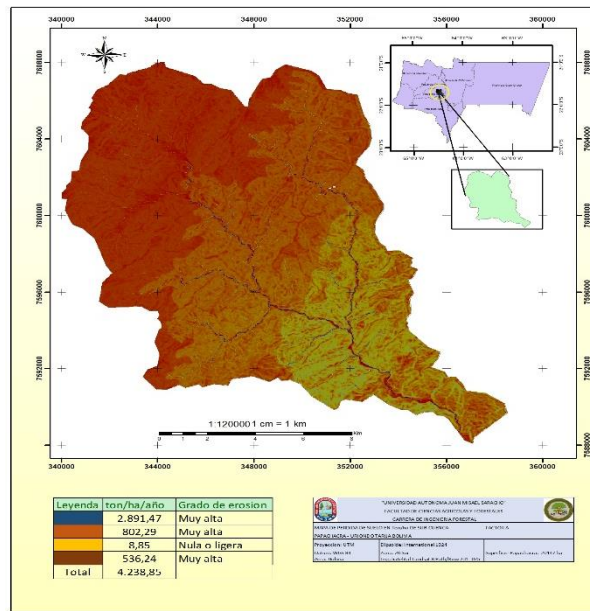
El cambio de uso de suelo se da principalmente las zonas altas, donde se encuentran pastizales para la introducción de ganado, Vacuno Criollo, Ovino Criollo y caprino criollo lo que trae consigo la erosión hídrica. Desafortunadamente esta actividad ganadera se generaliza en toda la sub cuenca.

4.1.5. Resultado de pérdida de suelo

El mapa de pérdida suelo se obtuvo dos tipos de grado de erosión; nula o ligera y muy alta.

En el mapa de pérdida de suelo nos da un estimado de 4.238.85 toneladas por año en toda la sub-cuenca Papachacra que cuenta con una superficie de 20.147 ha.

Es importante destacar que estas áreas en donde se presenta mayor cantidad de pérdida de suelo son de acuerdo a



la imagen satelital sitios cercanos al cauce principal de la sub-cuenca, donde la cantidad de pérdida de suelo en la sub cuenca es muy alta.

En la parte baja de la sub cuenca presenta un grado de erosión nula o ligera de 8.85 ton/ha/año por ser un bosque denso, en parte media de la sub-cuenca con una pérdida de 802,24 ton/ha/año donde se encuentra un matorral ralo, en la parte alta de la sub cuenca con 536,24 ton/ha/año de pérdida donde su cobertura es herbácea y donde

presenta mayor grado de erosión son en los cauces principales y secundarios de la sub cuenca 2.891,47 ton/ha/año esto debido a la pendiente que se presenta en la sub cuenca.

Según el cuadro de la FAO

Leyenda	ton/ha/año	Grado de erosión
	2.891,47	Muy alta
	802,29	Muy alta
	8,85	Nula o ligera
	536,24	Muy alta
Total	4.238,85	

Figura; resultado de perdida de erosión

Tabla de los datos de pérdida de suelos

Pérdida de suelo	Interpretación
5 a 10 (ton/ha/año)	Zonas con niveles de erosión bajos y pérdidas de suelo que pueden ser tolerables. Probablemente no hay erosión neta.
50 a 100 (ton/ha/año)	Zonas con proceso erosivo graves. Existe erosión y es apreciable a simple vista.
Más de 200 (ton/ha/año)	Zonas con procesos erosivos extremos. Existe erosión y es evidente a simple vista.

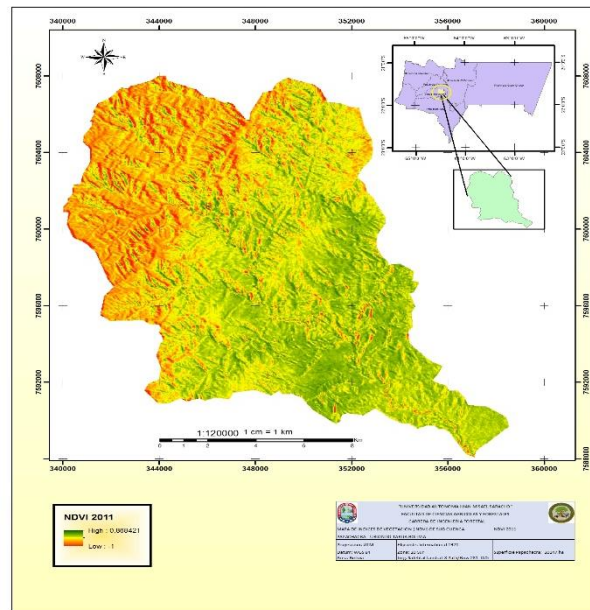
Fuente: Edeso et al., 1997

4.2. Mapas de índice de vegetación NDVI

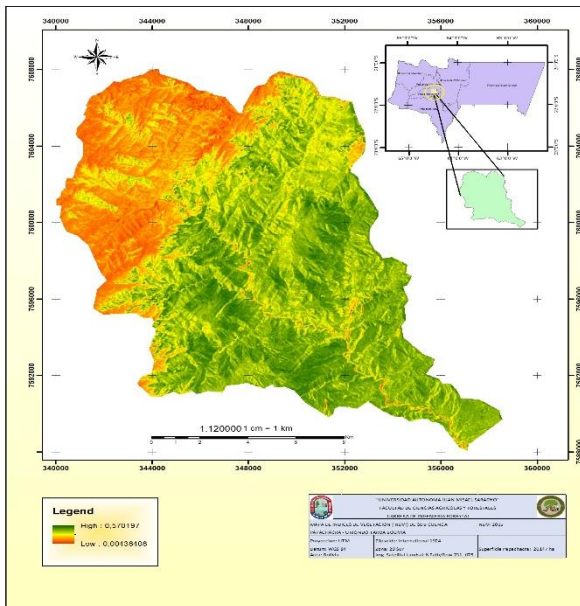
4.2.1. NDVI 2011

El mapa de índice de vegetación 2011 muestra poca cobertura vegetal debido a la quema que realizaban los comunarios de la zona y esta no se realizaba adecuadamente por lo que se producían incendios en las partes altas de la sub-cuenca.

Esta quema se lo realizaba para eliminar la plaga que se encontraba en la vegetación.



4.2.2. NDVI 2015



El índice de vegetación 2015 nos muestra que gran parte de la sub-cuenca está mejorada su vegetación debido que comunarios de la zona y las autoridades de la comunidad, protegen el área ya que ellos hicieron que la sub-cuenca Papachacra perteneciera a la reserva de Tariquía y así ésta sea una zona turística y produzca ingreso económicos a los comunarios de la zona.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES

- ❖ Los resultados obtenidos mediante la fórmula USLE indican donde y que cantidad se produce el fenómeno erosivo, es decir, es posible conocer la localización espacial del fenómeno y su intensidad. Se puede analizar las variables son las responsables del agravamiento del fenómeno erosivo permitiendo, llevar a cabo, la implementación de las medidas de la conservación de los suelos adecuados. Tanto así que se puedan elaborar planes de acción.
- ❖ La metodología y los resultados obtenidos, muestran la utilidad de los sistemas de información geográfica en la aplicación de métodos cuantitativos de pérdida de suelo.
- ❖ El modelo de estimación de erosión USLE provee un estimado de 4.238,85 toneladas de pérdida de suelo por año en la sub-cuenca Papachacra.
- ❖ Para este trabajo se realizó una comparación de los resultados de pérdida de suelo usando la fórmula USLE con un Sftware ArcGis 10.1, donde el trabajo se realizó la en una micro cuenca Arroyo ubicada en el municipio Jara bacao, la vega Republica de Dominicana donde sus resultados de pérdida de suelo en la micro cuenca 2.334,51 ton/año.
- ❖ En el mapa del NDVI 2011, en la parte alta y media de la sub-cuenca reflejan poca cobertura vegetal esto debido a los incendios ocasionados por los comunarios de la zona. Para nuestro NDVI 2015 nos indica una regeneración de las partes de la cuenca ya mencionadas, debido al trabajo de los comunarios y autoridades del lugar, con el motivo de hacerlo formar parte a la reserva de Tariquía.
- ❖ Los mapas de índices de vegetación se demostraron que hay una regeneración de la vegetación en la sub cuenca, con las imágenes trabajadas de los años 2011 y 2015, donde los resultados del NDVI 2015 no se encontraron valores

negativos (-1) por lo que nos indica la teoría que hay poca presencia de vegetación o no existe.

CAPITULO VI

RECOMENDACIONES

- ❖ Evitar los chaqueos o conversiones de los bosques en tierras agrícolas que se encuentran en las riberas del río, quebradas y afluentes de la sub cuenca, para lograr la protección de las aguas y evitar las crecidas de los ríos, manteniéndose los cauces ya establecidos por la naturaleza.

- ❖ Proporcionar información a los comunarios de la zona acerca de la consecuencia en la degradación de los suelos, que trae consigo la deforestación, la ampliación de la frontera agrícola y especialmente de los chaqueos en las zonas con pendientes elevadas.

- ❖ Crear políticas de ordenamiento predial y categorizar los suelos por su capacidad de uso, evitando la confrontación directa entre comunario – legislador para lograr un consenso para así evitar la pérdida de más suelos y la degradación del medio.