

Maestría en Manejo Integral de Cuencas Hidrográficas  
Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales  
Universidad Nacional de La Plata

Título:

Evaluación del uso de suelo y su influencia actual en la calidad del agua de la microcuenca “El Sapanal” cantón Pangua, provincia de Cotopaxi, Ecuador

Tesista: M.Sc. Norma María Guerrero Chuez

Secretaría Nacional de Educación Superior, Ciencia, Tecnología e Innovación del Ecuador (SENESCYT)  
normaguerreroch@hotmail.com

Director: M.Sc. Gerardo Denegri  
Universidad Nacional de La Plata, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales

2016

## **RESUMEN**

La evaluación del uso de suelo y su influencia actual en la calidad del agua de la microcuenca “El Sapanal”, ubicada en el cantón Pangua, Provincia de Cotopaxi, Ecuador, permitió la recopilación de información biofísica y socioeconómica, lo que determinó las potencialidades y vulnerabilidad del lugar, desde una perspectiva técnica y con base a los planteamientos de los actores locales. El índice *Biological Monitoring Working Party* modificado para Costa Rica (BMWP-Cr), mostró que el uso de suelo del bosque posee aguas de calidad excelente, a diferencia del uso de suelo agrícola y pastizal con aguas de calidad regular. Esto, demuestra que la reducción de la franja ribereña contribuye a la degradación del hábitat interior y de la calidad del agua. Por ello, los lineamientos de manejo propuestos son herramientas para realizar acciones y tomar decisiones encaminadas a: i. recuperar áreas de valor medioambiental, ii. mejorar la vida de los habitantes, y iv. garantizar la calidad y la cantidad del agua.

### **Palabras claves**

Uso de suelo, calidad del agua, Índice BMWP-Cr

## SUMMARY

The assessment of land use and its current influence on the water quality of the watershed "The Sapanal" located in the canton Pangua, Cotopaxi Province, Ecuador, allowed the collection of biophysical and socio-economic information, which determined the potential and vulnerability, from a technical perspective and based on the proposals of local actors. The Biological Monitoring Working Party modified index for Costa Rica (BMWP-Cr) showed that the use of forest floor has water of excellent quality, unlike the use of agricultural land and pasture with water of medium quality. This shows that reducing coastal strip contributes to the degradation of the inner habitat and water quality. Because of that, the proposed management guidelines are tools to do actions and take decisions in order to: i. recover areas of environmental value, ii. improve the lives of people, and iv. guarantee both quality and quantity of water.

Keywords

Land use, water quality, BMWP-Cr Index

# ÍNDICE

<b>CAPÍTULO 1</b> .....	7
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	7
1.1. Generalidades .....	7
1.2. Antecedentes .....	10
1.3. Fundamentación de la elección de tema.....	11
1.4. Hipótesis.....	12
1.5. Objetivos .....	13
1.5.1. Objetivo General.....	13
1.5.2. Objetivos Específicos .....	13
<b>CAPÍTULO 2</b> .....	14
<b>MARCO TEÓRICO</b> .....	14
2.1. Manejo de Cuencas hidrográficas .....	14
2.2. Usos del suelo en una cuenca hidrográfica .....	15
2.3. La calidad del agua y los bioindicadores .....	16
2.4. Caracterización socioeconómica de la cuenca .....	18
2.5. Plan de Manejo de Cuencas Hidrográficas.....	19
<b>CAPÍTULO 3</b> .....	20
<b>CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO</b> .....	20
3.1. Ubicación geográfica.....	20
3.2. Características de la zona de estudio .....	20
3.3. Actividades socioeconómicas en la Microcuenca “El Sapanal” .....	21
3.4. Red vial.....	21
3.5. Red hídrica .....	22
<b>CAPÍTULO 4</b> .....	23
<b>MATERIALES Y MÉTODOS</b> .....	23
4.1. Caracterizar los usos de suelo de la microcuenca “El Sapanal” .....	23
4.2. Determinar la calidad del agua a través de la utilización de macroinvertebrados acuáticos en distintas áreas de la microcuenca.....	24
4.3. Establecer el efecto de los distintos usos de suelo sobre la calidad del agua.....	25
4.4. Diseño estadístico, análisis de Varianza (ANOVA) y Clúster .....	27
4.4. Caracterizar la actividad socioeconómica de la microcuenca “El Sapanal” .....	29
4.5. Integración de los Sistemas de Información Geográfica.....	29

4.6. Formulación de lineamientos para el manejo de los recursos naturales en la microcuenca “El Sapanal” .....	30
<b>CAPÍTULO 5</b> .....	31
<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b> .....	31
5.1. Caracterización biofísica y usos de suelo de la microcuenca “El Sapanal” .....	31
5.1.1. Componente hidrológico.....	31
5.1.2. Pendientes del suelo.....	32
5.1.3. Elevaciones .....	33
5.1.4. Uso de suelo actual de la microcuenca “El Sapanal” .....	35
5.2. Calidad del agua de la microcuenca “El Sapanal” .....	38
5.2.1 Entomofauna encontrada. ....	38
5.2.2 Índice de Shannon-Wiener.....	42
5.2.3 Índice de Similaridad de Jaccard .....	43
5.2.4 Efectos de los diferentes usos de suelo sobre la calidad del agua de la microcuenca “El Sapanal” mediante la utilización del Índice BMWP-CR....	46
5.2.5 Análisis de varianza (ANOVA) para los resultados obtenidos por tipo de cultivo, mes y punto de muestreo del Índice BMWP-Cr.....	48
5.2.6 Caracterización de la actividad socioeconómica de la microcuenca “El Sapanal”, cantón Pangua, provincia de Cotopaxi.....	49
5.3. Lineamientos generales para el manejo de los recursos naturales de acuerdo al uso de suelo y calidad de agua .....	55
5.3.1. Mision de la Organización.....	58
5.3.2. Visión.....	59
5.3.3. Objetivos Generales .....	59
5.3.4 Zona de protección permanente .....	60
5.3.5 Zona de reforestación.....	63
5.3.6. Zona de bosque secundario.....	67
5.3.7 Zona de Sistemas Silvopastoriles .....	70
5.3.7.1. Actividades del Comité de Gestión.....	70
5.3.7.2. Cronograma de la zona silvopastoril.....	74
5.3.8 Zona de uso de suelo agrícola.....	76
5.3.8.1. Actividades del Comité de Gestión.....	76
5.3.8.2 Cronograma de la zona de uso agrícola.....	78

<b>CAPÍTULO 6</b> .....	80
<b>CONCLUSIONES</b> .....	80
<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	82
<b>CAPÍTULO 7</b> .....	83
<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	83
<b>ANEXOS</b> .....	89

# CAPÍTULO 1

## INTRODUCCIÓN

### 1.1. Generalidades

La cuenca hidrográfica es una unidad elemental en la gestión de los recursos hídricos, así como de planificación y gestión territorial, propicia para el manejo integrado de los recursos naturales y el medio ambiente. Cada cuenca integra sistemas complejos y dinámicos que pueden delimitarse por las líneas de crestas que constituyen la divisoria de las aguas y a partir de la cual la precipitación drena hacia una sección de un cauce o hacia un punto en común. El sistema se caracteriza por la interacción de diversos componentes, entre los que se pueden mencionar: los físicos (*e. g.* el agua, el aire, el suelo, el subsuelo y el clima), los biológicos (*e. g.* plantas y animales) y los antropogénicos (*e. g.* socioeconómicos, culturales e institucionales), elementos que determinan un mosaico de distintas clases de uso/cobertura de suelo, tales como bosques, pastizales, humedales, zonas agrícolas y áreas urbanas.

A nivel de cuenca, la vegetación cumple con un gran número de funciones que ayudan a mantener la estabilidad y el correcto funcionamiento del intercambio de materia y energía cuenca arriba-cuenca abajo (Cuevas *et al.*, 2010). La pérdida y degradación de la vegetación natural, así como la velocidad a la que están ocurriendo dichos cambios, desencadenan procesos negativos a distintas escalas espaciales y temporales muchas veces difíciles de revertir. Esto compromete los servicios ecosistémicos en las cuencas, como la estabilización del suelo, la regulación del volumen y periodicidad de los caudales y la purificación e infiltración del agua, por mencionar algunos (Cuevas *et al.*, 2010).

De acuerdo a la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL, 2011), en Ecuador la contaminación del agua causada por los desechos generados de la industria, municipios, agricultura, crianza de animales, minería, petróleo confiere un escenario perjudicial para la salud de la población y tiene una influencia negativa en los recursos hidrológicos superficiales y en el agua subterránea.

Los problemas comienzan a sentirse con mayor intensidad debido al crecimiento de actividades socioeconómicas tradicionales basadas en colonizar extensiones de bosques, aprovechar la madera, desbrozar la cubierta vegetal restante y cultivar plantas de ciclo corto tales como arroz, maíz, yuca, o perennes como cacao, y café; así como también pastos para el ganado. Esto genera un impacto negativo en la capacidad de retención y abastecimiento del recurso hídrico, tanto por el uso inadecuado del suelo como por el cambio climático, que provoca alteraciones en el régimen pluviométrico en la región costa y sierra del Ecuador. Al respecto Vimos (2008) manifiesta que la subcuenca del río Santa Bárbara en Ecuador, a pesar de presentar una cobertura vegetal de páramo y de vegetación leñosa del 46.1 %, presenta zonas de cultivo y de pastura equivalente al 36,9 % las cuales influyen negativamente en la calidad de los recursos naturales de la subcuenca, especialmente en el agua.

La microcuenca "El Sapanal", ubicada en el cantón Pangua, provincia de Cotopaxi, Ecuador, por su ubicación e importancia hídrica presta beneficios directos como la dotación de agua para el consumo humano a más de 2000 familias de 32 comunas de la Junta de Agua Potable y Alcantarillado del Sistema Regional Chipe Hamburgo, así como también indirectos como el refugio de especies del bosque tropical, la regulación del micro clima y ciclo hidrológico, captación de CO<sub>2</sub> además tiene un alto potencial ecoturístico aprovechado principalmente para la recreación familiar. La deforestación, y la degradación de suelo forestal, es uno de los mayores problemas que enfrenta la zona de la microcuenca "El Sapanal", cuyas consecuencias son la erosión, sedimentación, disminución en la captación de agua y recarga de mantos acuíferos, reducción del potencial productivo por la pérdida paulatina de fertilidad de suelos, y los impactos negativos en la biodiversidad. Todo esto sumado a las malas prácticas agrícolas resulta en un excesivo uso de agroquímicos como pesticidas y fertilizantes que causan daño a las personas, a la fauna, y a los ecosistemas acuáticos.

En una investigación realizada en la subcuenca del río Jabonal en Costa Rica, Auquilla (2005), manifiesta que la calidad del agua a nivel físico-químico tuvo alteraciones importantes debido al cambio de uso de suelo, factor principal que influye en la vulnerabilidad del recurso. Lo que demostró que la disminución de la franja ribereña de la subcuenca y el incremento el área de pasturas-ganadería, con el consecuente acceso de los animales al cauce, también aumentó el aporte de materia contaminante.

Los contaminantes de los sistemas acuáticos provocan una serie de modificaciones y alteraciones físico-químico en el agua, lo cual repercute en la composición, distribución y estructura de las comunidades que sirven como indicadores biológicos (Abarca, 2007). Se considera que un organismo es un indicador de la calidad del agua, cuando éste se encuentra invariablemente en un ecosistema de características definidas y cuando su población presenta un porcentaje superior o ligeramente similar al resto de los organismos que viven en el mismo hábitat. Asimismo, un indicador es una variable que caracteriza el estado de un sistema y en un tiempo breve permite observar un fenómeno que escapa de la percepción normal. Por ello, los macroinvertebrados acuáticos son usados en el monitoreo de contaminación de los cursos fluviales, ya que constituyen un valioso método para determinar los impactos causados por los desechos domésticos e industriales en los ríos y las quebradas que cruzan por los pueblos y las ciudades. Así, el empleo de bioindicadores resulta una herramienta de mucha utilidad para determinar la calidad del agua en el curso fluvial y desarrollar programas de protección, conservación, ordenamiento territorial y manejo de las áreas de drenaje. Con base en la información obtenida se pueden ejecutar las medidas de mitigación necesarias (Abarca, 2007).

## **1.2. Antecedentes**

Los cambios en el uso de los recursos naturales, principalmente del suelo en las pendientes altas de la cuenca generan modificación del ciclo hidrológico dentro de la cuenca aguas abajo en cantidad, calidad, oportunidad y lugar. Se estima que las prácticas de uso del suelo tienen impactos importantes, tanto en la disponibilidad como en la calidad de los recursos hídricos. Estos impactos pueden ser tanto positivos como negativos. Muchos estudios demuestran como la degradación de la calidad del agua está altamente relacionada con los cambios en el uso del suelo, tales como deforestación, agricultura, acuicultura, urbanismo, ganadería, forestación, exceso de nutrientes, erosión. Es lógico pensar que los beneficios de una mejora en el manejo del suelo, o los costos asociados a los impactos negativos por un uso inadecuado de los recursos hídricos podrían repercutir no sólo en los usuarios del agua que los causan sino también en la población que vive en la cuenca baja o, en el caso de las aguas subterráneas, que hace un uso de los recursos contaminados (Gutiérrez, 2009).

La influencia del uso de suelo y las prácticas de manejo sobre la calidad del agua ha sido ampliamente comprobada. Estos provocan alteraciones en los regímenes hídricos, cambios dramáticos de la calidad y la cantidad el agua, especialmente respecto a su potabilidad. El 80 % del deterioro de la calidad del agua es debido a sedimentos suspendidos, en su mayoría, provenientes de la erosión de suelos por la construcción de urbanizaciones, la deforestación, actividades agrícolas y ganaderas (Gutiérrez, 2009). Así por ejemplo, actividades agrícolas producen erosión y aportes excesivos de sedimentos a los ríos, generando una reducción en los recursos alimenticios, afectando la calidad y disponibilidad de los sustratos que hacen parte del hábitat de los organismos acuáticos. En consecuencia, hay decrecimiento de aquellas poblaciones de macroinvertebrados que se alimentan raspando algas, mientras filtradores y colectores incrementan (Gutiérrez, 2009).

De acuerdo a Lojano y Lucero (2011), para analizar la perturbación sufrida en las fuentes de agua, tradicionalmente se han utilizado métodos físico-químicos que ofrecen información puntual del estado del agua. En la actualidad, se ha empezado a analizar los organismos vivos presentes en el cuerpo de agua. Este análisis brinda información

de lo que sucedió días y horas antes de la toma de la muestra. El análisis biológico no reemplaza al físico-químico, sino que lo complementa. Según Abarca (2007), los macroinvertebrados (MI) son los bioindicadores preferidos. Esto por ser sedentarios y con ciclos de vida relativamente largos, pueden ser empleados para evaluar la calidad del agua en un lugar, a lo largo de un período de tiempo. Otra ventaja es que los monitoreos con macroinvertebrados acuáticos no necesitan grandes inversiones de tiempo, económicas o de capital humano, como sí lo demandan los análisis físico-químicos. Además, como suelen permanecer en el fondo, son testigos de los cambios que están ocurriendo en el sistema fluvial.

Por otro lado un buen monitoreo de los insectos y otros organismos que viven en determinada cuenca, puede generar información válida para conocer el grado de contaminación presente. Además, se genera un precedente para desarrollar programas de protección, conservación, ordenamiento territorial y manejo de las áreas de drenaje. Así, el empleo de bioindicadores resulta una herramienta de mucha utilidad para determinar la calidad del agua en el curso fluvial y, con base en la información obtenida, ejecutar las medidas de mitigación necesarias (Abarca, 2007).

### **1.3. Fundamentación de la elección de tema**

La demanda por el acceso y consumo de agua es cada vez mayor en el ámbito mundial, por lo que su protección es un tema de interés global; sin embargo su disponibilidad ha disminuido tanto en fuentes subterráneas como superficiales (Auquilla & Jiménez, 2005). Diferentes actividades antropogénicas como la deforestación, agricultura y ganadería extensiva afectan a la biota presente en los sistemas acuáticos debido al uso de agroquímicos, aumento de sedimentos, pérdida de la vegetación ribereña, aumento de la temperatura del agua, y menor regulación de caudales (Cárdenas *et al.*, 2007). Al respecto Auquilla y Jiménez (2005), afirman que dentro del paisaje ganadero, el modelo tradicional de pastoreo en praderas sin árboles y la falta de tecnologías para una producción más sostenible provocó el avance de la frontera agrícola, y la destrucción de grandes áreas de bosque natural. A consecuencia de esto, han aparecido problemas ambientales como pérdida de diversidad biológica, degradación de suelos y contaminación de fuentes de agua.

De acuerdo a Cárdenas *et al.*, (2007) existe un creciente interés por conocer la manera de proteger los sistemas fluviales y estudiar sus cambios en el tiempo, lo que ha estimulado el desarrollo de criterios biológicos que permitan estimar el efecto de las intervenciones humanas en éstos. La mayoría de estos estudios se realiza con la finalidad de tomar medidas en la conservación y protección de las fuentes de agua, y mejorar la cantidad y calidad de la misma. La influencia del cambio de uso de suelo, por el avance de las actividades agrícolas, ganaderas y la deforestación en la microcuenca “El Sapanal”, provocan degradación de suelo en las zonas ribereñas del cauce, lo que afecta al ecosistema acuático, cantidad y calidad del agua en el sector. Por ello el análisis de las actividades que derivan del uso de suelo permite conocer la tendencia en el manejo del espacio (biofísico, social, económico y ambiental), lo que contribuye a promover acciones para la conservación de la microcuenca “El Sapanal”.

#### **1.4. Hipótesis**

La contaminación del agua y las alteraciones en la dinámica de los macroinvertebrados acuáticos de la cuenca “El Sapanal” están asociadas en forma creciente a los cambios en el ecosistema natural cuando el uso del suelo es transformado por el hombre.

## **1.5. Objetivos**

### **1.5.1. Objetivo General**

Proponer alternativas de manejo que mejoren la calidad de agua a partir de la evaluación del efecto en el cambio del uso de suelo, basadas en el estudio de la dinámica de los macroinvertebrados acuáticos como bioindicadores en la microcuenca “El Sapanal”, cantón Pangua, provincia de Cotopaxi, Ecuador.

### **1.5.2. Objetivos Específicos**

- Caracterizar los usos de suelo de la microcuenca “El Sapanal”.
- Establecer el efecto de los distintos usos de suelo sobre la calidad del agua, a través del estudio de la dinámica de los macroinvertebrados acuáticos en distintas áreas de la microcuenca.
- Caracterizar la actividad socioeconómica de la microcuenca “El Sapanal”.
- Formular lineamientos para el manejo de los recursos naturales en la microcuenca “El Sapanal”.

## CAPÍTULO 2

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1. Manejo de Cuencas hidrográficas

La cuenca hidrográfica desde el punto de vista geomorfológico, es un conjunto de geoformas construidas por el desgaste constante de las corrientes superficiales ó la red de drenaje, también llamada red hidrográfica la cual consta de un canal principal y corrientes tributarias más reducidas que la proveen de agua. Desde el punto de vista de su funcionamiento hidrológico Villegas *et al.*, (2007) establecen el concepto general de cuenca, como el área de drenaje natural dividida por una línea imaginaria que establece la dirección del flujo del agua proveniente de la precipitación.

Por su funcionalidad hidrológica a la cuenca hidrográfica se la concibe como una unidad de planificación Villegas *et al.*, (2007) señalan que en las cuencas hidrográficas, tienen lugar todos los procesos naturales, por lo que constituye la unidad natural y lógica para el desarrollo agrícola, ambiental y socioeconómico. También complementa de acuerdo a lo anterior plantear que la cuenca es la unidad natural que permite a los planificadores observar todas las consecuencias del escurrimiento en un área determinada y elaborar los planes necesarios para su control.

La cuenca hidrográfica como parte del paisaje, es la unidad geomorfológica que integra todos los factores físicos, biológicos y antropogénicos, los conjuga y los manifiesta de forma directa en su comportamiento hidrológico; de esta manera es posible estudiar el comportamiento de algunos componentes del ciclo hidrológico a corto, mediano y largo plazo, y establecer tendencias que permitan la planificación del uso del suelo, vegetación y agua.

Para cualquier propósito, el estudio de la cuenca hidrográfica se inicia con la caracterización física, que consiste básicamente en delimitar su área de influencia, determinar su forma y caracterizar la red de drenaje (Villegas *et al.*, 2007). De acuerdo con este mismo autor los parámetros más útiles para caracterizar la red de drenaje y el

comportamiento hidrológico de la cuenca son la longitud de la corriente principal, pendiente, densidad de drenaje y tiempo de concentración.

## **2.2. Usos del suelo en una cuenca hidrográfica**

El uso de suelo tiene gran influencia en el proceso de infiltración, distribución del agua en el suelo y evaporación afectada por la cobertura vegetal. Su análisis permite entender las causas y consecuencias de las tendencias de los procesos de degradación, desertificación, disminución de la biodiversidad y, en general, pérdida del capital natural y cultural (Figuroa *et al.*, 2011). El cambio del mismo, consiste en la transición de una categoría por otra, como es el caso la deforestación, la expansión agrícola o el cambio en la extensión urbana, y está en función: de la presión (población de usuarios de los recursos), oportunidades (precios de mercado, costos de producción, costos de transporte y tecnología), políticas (subsidios, impuestos, derecho de propiedad, infraestructura), vulnerabilidad (exposición a las perturbaciones externas, sensibilidad y capacidad de resistencia), y la organización social (acceso a los recursos, distribución del ingreso, características de los hogares, y las interacciones urbano-rurales); estas funciones tienen una fuerte interacción que causan el cambio de uso del suelo (Chávez, 2012).

Los impactos de cambios de uso del suelo pueden presentarse mediante las variaciones estacionales sobre la hidrología de la cuenca, y su equilibrio están en función a la distribución de la vegetación y su interacción con el agua y el suelo, cualquier alteración modifica el ciclo hidrológico (Chávez, 2012). Asimismo, la conversión de los bosques para agricultura o pastos, pueden reducir los caudales de los ríos en estaciones secas y se intensifican en estaciones de invierno; estos cambios de uso del suelo agravan los problemas relacionados con la escasez del agua en periodos de sequía y la erosión de las laderas en estaciones lluviosos (Chávez, 2012)

Con respecto al régimen hidrológico Gutiérrez (2009), distingue entre los impactos sobre las aguas superficiales y las subterráneas. Los impactos de las prácticas de uso de la tierra sobre las aguas superficiales se pueden dividir en impactos sobre la disponibilidad de agua en general, o sobre la escorrentía media anual, e impactos en la

distribución estacional del agua. En cuanto a las aguas subterráneas, se debe examinar el efecto del uso de la tierra en la recarga de acuíferos.

No obstante, algunos estudios muestran que la disminución del agua puede estar más afectada por la variabilidad climática (influye en 77 %) que por el cambio de uso del suelo (influye en 18 %), de manera que el cambio del clima juega un rol importante que influye en la hidrología de la cuenca; sin embargo, la relación de la extensión de los cambios de uso del suelo pueden ser otro factor determinante (Chávez, 2012)

### **2.3. La calidad del agua y los bioindicadores**

La contaminación de aguas superficiales está íntimamente relacionada con el proceso de pérdida de suelos, por el arrastre de sedimentos combinados con nutrientes. La contaminación del agua por fertilizantes ocurre de varias formas, tipos, cantidades y frecuencias. El nitrógeno especialmente en forma de nitratos, es uno de los elementos más importantes que degradan la calidad del agua (Gutiérrez, 2009). De acuerdo a lo anterior la definición de calidad del agua se basa en el uso al que se destina, donde la suma de las características físicas, químicas y biológicas de las aguas superficiales (quebradas, ríos y lagos) y subterráneas cumplan con los requerimientos establecidos para cada uso, como consumo humano, industrial, abrevaderos, agricultura, etc (Auquilla, 2005). Estas características deben ser monitoreadas para definir las condiciones del agua, proveer las bases para detectar las tendencias y proveer información para establecer las causas y efectos de las relaciones entre estas características (Auquilla, 2005)

Los usos del suelo (urbano, industrial y/o agrícola) que el hombre realiza en una cuenca generan efectos tanto en los compartimentos abióticos como bióticos de los sistemas acuáticos (Teixeira de Mello, 2007). La calidad del agua se puede ver afectada tanto por descargas puntuales como no puntuales de contaminantes, como ser nutrientes (principalmente fósforo, amonio y nitratos), metales pesados y productos fitosanitarios (insecticidas, herbicidas y fungicidas), provenientes de las actividades urbano-industriales y agrícolas (Teixeira de Mello, 2007). Muchos países han dependido esencialmente de parámetros físico-químicos para evaluar la calidad del agua. Para ello, se han desarrollado numerosos métodos e índices que tratan de interpretar la situación real, o grado de alteración de los sistemas acuáticos. Unos se basan exclusivamente en

análisis de las condiciones químicas, que si bien “en principio” son de una gran precisión, y dan información acerca, de las condiciones instantáneas de las aguas, y los efectos de los contaminantes se detectan si son dispuestos en el momento. Es decir, los resultados son puntuales en la dimensión cronológica y no revelan mucho de la evolución de una carga contaminante y la capacidad resiliente y amortiguadora de los ecosistemas acuáticos (Gutiérrez, 2009).

Las variables físico-químicas más empleadas para determinar la utilización del agua desde el punto de vista higiénico, alimenticio e industrial son el pH, oxígeno disuelto, fosforo, nitrógeno, demanda bioquímica de oxígeno (DBO), turbidez, sólidos totales y disueltos, conductividad eléctrica además de las variables biológicas coliformes totales y fecales. A partir de estas variables se han creado índices que constituyen las clasificaciones cualitativas y cuantitativas, que tienen el propósito de simplificar la información para que pueda ser útil para la toma de decisiones (Gutiérrez, 2009).

El concepto de bioindicador, aplicado a la evaluación de calidad de agua, es definido como una especie, población o comunidad, que tiene requerimientos específicos con relación a un conjunto de variables físicas o químicas conocidas, de tal modo que la ausencia, o los cambios en número de individuos, morfología, fisiología o comportamiento indican que las variables fisicoquímicas dadas están fuera de sus límites preferidos. En general el indicador ideal es aquel que tiene tolerancias ambientales estrechas; por el contrario, aquellos organismos o poblaciones que tienen tolerancias amplias para diferentes condiciones ambientales y cuyos patrones de distribución y abundancia se afectan poco por variaciones del hábitat, se consideran pobres indicadores de calidad ambiental (Gutiérrez, 2009).

Los organismos vivos que habitan en los cursos de agua presentan adaptaciones evolutivas a determinadas condiciones ambientales, y presentan límites de tolerancia a las diferentes alteraciones de las mismas. Estos límites de tolerancia varían, y así, frente a una determinada alteración se encuentran organismos sensibles que no soportan condiciones impuestas, comportándose como intolerantes, mientras que otros, que son tolerantes no se ven afectados. Si la perturbación llega a un nivel letal para los intolerantes, estos mueren y su lugar es ocupado por comunidades de organismos tolerantes. Del mismo modo, aun cuando la perturbación no sobrepase el umbral letal,

los organismos intolerantes abandonan la zona alterada, con lo cual dejan espacio libre que puede ser colonizado por organismos tolerantes.

De modo que, variaciones inesperadas en la composición y estructura de las comunidades de organismos vivos de los ríos pueden interpretarse como signos evidentes de algún tipo de contaminación (Gutiérrez, 2009).

El uso de macroinvertebrados para valorar y determinar la calidad del agua tiene cuando menos 100 años de antigüedad. De estas técnicas, los insectos acuáticos (entre un 70-90 % de la fauna de macroinvertebrados dulceacuícolas) han sido el grupo más estudiado para evaluar la calidad del agua por muchos investigadores (Gutiérrez, 2009).

Los macroinvertebrados acuáticos son generalmente abundantes, relativamente fáciles de recolectar y tienen el suficiente tamaño para ser observados si necesidad del microscopio, o cuando menos se prescinde de infraestructura sofisticada. De acuerdo a Gutiérrez (2009), estos organismos presentan las siguientes ventajas: a) prácticamente universales, b) son sedentarios, c) son extremadamente sensibles a perturbaciones, d) presentan largos ciclos de vida, e) muestran una respuesta inmediata ante un determinado impacto, f) existe un patrón de estímulo-respuesta ante alteraciones físico-químicas, g) existen métodos de evaluación y conocimiento sobre taxonomía para algunas regiones.

#### **2.4. Caracterización socioeconómica de la cuenca**

La caracterización socioeconómica permite conocer la demanda de la población (rural y urbana), sus problemas, sus necesidades, sus tendencias y el conflicto con la capacidad de carga de la cuenca, y proponer alternativas de solución. Esto es debido a que el factor social (hombre y comunidad) son la clave para movilizar las acciones de manejo de cuencas. Por ello es necesario realizar una interpretación cuidadosa de las respectivas características socioeconómicas (Zambrana, 2008).

En la caracterización socioeconómica de una cuenca se deben identificar cuáles son las formas de organización y como es la administración de los recursos naturales, las condiciones sociales y actividades económicas predominantes. El análisis debe explicar cómo se realiza la gestión para garantizar una buena calidad ambiental, que gestión se

realiza para manejar los recursos naturales y hacer más eficiente la producción y cuáles son las acciones más efectivas de gestión ambiental (Zambrana, 2008).

## **2.5. Plan de Manejo de Cuencas Hidrográficas**

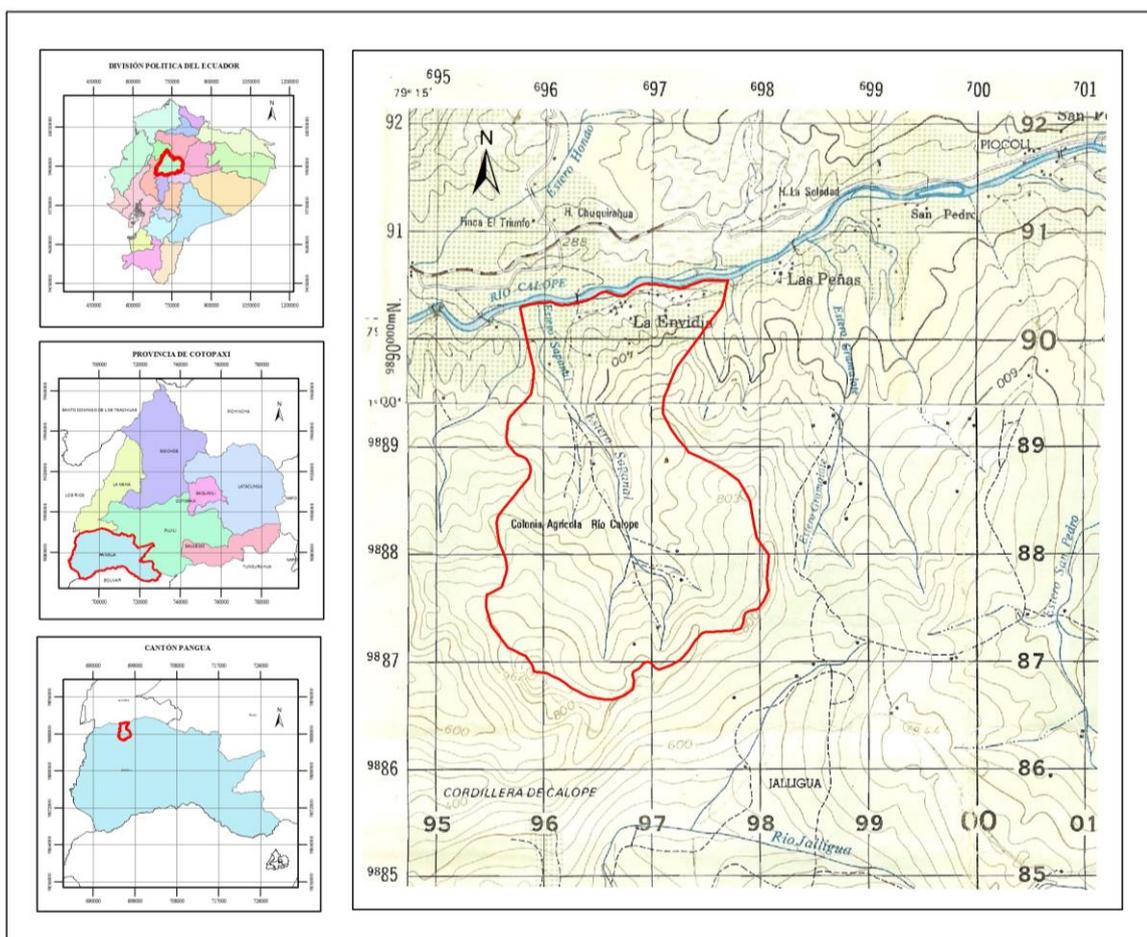
Montaguano y Salamea (2012), expresan que el plan de manejo es un documento que establece en detalle y en orden cronológico las acciones que se requieren para prevenir, mitigar, controlar, corregir y compensar los posibles impactos ambientales negativos, o acentuar los impactos positivos causado en el desarrollo de una acción propuesta. Por su parte Ibañez (2012), menciona que el Plan de Manejo Ambiental plantea un conjunto de programas, proyectos y acciones necesarias para la recuperación de la cuenca, siendo una herramienta esencial para la gestión ambiental en la misma, por lo que se contemplan programas que consideran los impactos de acuerdo a su jerarquía por su importancia y magnitud, estrategia, cronograma de actividades y recursos para las acciones y obras a ejecutar.

## CAPÍTULO 3

### CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

#### 3.1. Ubicación geográfica

El área de estudio, la microcuenca “El Sapanal” se encuentra ubicado en la parroquia “Estero Hondo” del cantón Pangua, provincia de Cotopaxi, abarcando un área de 675,35 ha tal como se muestra en la figura 1.



**FIGURA 1:** Mapa de ubicación de la Microcuenca “El Sapanal” Fuente: Carta IGM. Cantón Pangua.  
Escala 1:50.000

#### 3.2. Características de la zona de estudio

El clima en esta zona es húmedo tropical, en ella se pueden apreciar dos tipos de zonas. La zona baja que va desde los 100 a 500 msnm, con una temperatura promedio de 23,0 a 25,0 °C y una precipitación promedio de 2 500 mm. Además su relieve está marcado

por terrenos ondulados, con pendientes moderadas. Mientras que la zona media, se encuentra marcada por una altitud que va desde los 500 a los 1000 msnm. Esta zona posee precipitaciones promedio de 2 000 mm y una temperatura que oscila entre el 18 y 22 °C, con suelos que tienen pendientes que van desde del 20 al 50%, con procesos de erosión no muy marcados (Bajaña, 2010).

### **3.3. Actividades socioeconómicas en la Microcuenca “El Sapanal”**

Durante los últimos 30 años de la Microcuenca “El Sapanal” ha venido experimentando múltiples procesos de colonización de medianas y grandes extensiones de bosques para aprovechar la madera, desbrozando la cubierta vegetal restante para posteriormente cultivar productos agrícolas, así como también pasto para alimentar el ganado alterando progresivamente el paisaje primitivo del lugar (Bajaña, 2010). Todo esto origina pérdida de hábitat tanto para especies terrestres como acuáticas estas últimas debido a la deforestación de la vegetación ribereña cerca de los arroyos.

En este contexto, el uso de suelo por pastizal se encuentra en el primer lugar ocupado por *Pennisetum ssp* (pasto), este cultivo que es dedicado a la actividad pecuaria se encuentra presente en la parte central, sureste y suroeste del área de estudio.

Otra actividad económica que se ha desarrollado progresivamente a lo largo de estos 30 años es la agricultura, dedicada al cultivo de *Manihot esculenta* (yuca), cultivo de *Theobroma cacao* (cacao) como rastrojo y plantaciones forestales de *Ochroma pyramidale* (Balsa) En resto de la superficie de la microcuenca se encuentran remanentes de formaciones boscosas pertenecientes al bosque húmedo tropical influenciadas por la Cordillera de los Andes.

Para regular los acelerados procesos de deforestación en la microcuenca “El Sapanal”, debido al crecimiento de las actividades socioeconómicas tradicionales, es necesario establecer: áreas de protección hídrica, y una estructura administrativa local que permitan mejorar la gobernabilidad del recurso hídrico (Bajaña, 2010).

### **3.4. Red vial**

La red de vial que comunica los diferentes puntos de la microcuenca “El Sapanal” está conformada por múltiples caminos de tercer orden que confluyen en el centro del

sistema hídrico conocido como las “Chorreras”, siendo este el principal atractivo turístico de la zona.

En los alrededores de esta zona se encuentran diferentes caminos de herradura o de verano que son utilizados principalmente por los comuneros del recinto “La Envidia” para comunicarse con las comunidades aledañas transportarse y comercializar sus productos (Bajaña, 2010).

### **3.5. Red hídrica**

El sistema hídrico de la microcuenca está formado por ocho afluentes, de los cuales cuatro de ellos descienden desde alturas que van desde los 723 - 830 msnm en dirección de sur a norte, los dos afluentes subsiguientes confluyen a los 645 msnm, siendo estos los principales tributarios del estero “El Sapanal” en el cual se encuentra construida la captación de agua para el sistema de agua potable de la Junta de Agua Potable y Alcantarillado del Sistema Regional Chipe Hamburgo, en cuya primera fase se encuentra un tanque de almacenamiento que a través de un acueducto en el cual se encuentran instaladas 5 cisternas que regulan la presión del sistema de tuberías, conduciendo el agua desde la toma a la planta de tratamiento por un acueducto de 915,96 m de longitud hasta la planta de tratamiento para luego ser distribuida a través de un extensa red secundaria y terciaria (Bajaña, 2010).

## CAPÍTULO 4

### MATERIALES Y MÉTODOS

Para la realización del presente trabajo se llevaron adelante diferentes tareas, utilizando diversos métodos, estrategias, instrumentos y materiales, que se detallan a continuación.

#### 4.1. Caracterizar los usos de suelo de la microcuenca “El Sapanal”

Para establecer las categorías de uso de suelo se realizó una descripción y levantamiento de áreas con distintos usos de suelo (pastizal, bosque secundario y cultivos agrícolas) mediante la observación directa y recopilación de datos de campo tomados con GPS diferencial, debido a que el área de investigación estuvo ubicada en una zona nubosa imposibilitando el uso de otras herramientas e imágenes satelitales que permitan describir la información. Además se empleó cartografía temática en formato .shp escala 1:50.000 del Instituto Geográfico Militar del Ecuador correspondiente a las cartas topográficas; La Mana N III-F4-3791-II y El Corazón N IV-B2-3790-I tal como se muestra en la tabla 1.

**TABLA 1:** Cobertura cartográfica de la microcuenca “El Sapanal” cantón Pangua, provincia de Cotopaxi, Ecuador. (IGM, 2012).

<b>La Mana</b>
N III-F4
3791-II
<b>El Corazón</b>
N IV-B2-3790-I

Además los mapas temáticos fueron elaborados con el programa AutoCAD Map 3D 2014 aplicando las técnicas de geoprocésamiento para obtener mapas temáticos: componente hidrológico, de pendientes, elevación, uso actual del suelo, uso ideal y posible.

#### 4.2. Determinar la calidad del agua a través de la utilización de macroinvertebrados acuáticos en distintas áreas de la microcuenca

Se establecieron cuatro unidades de muestro por cada categoría de uso de suelo determinadas en el ítem anterior, en las que se ubicaron puntos de monitoreo de macroinvertebrados acuáticos el mismo que se realizó durante la época seca (septiembre a diciembre) debido a la facilidad de acceso al arroyo “El Sapanal”. Para esto se realizó una captura manual, con red tipo “D” de 350 cm<sup>2</sup> aproximadamente y una abertura de malla de nylon de 500 micras con la que se colectaron los macroinvertebrados acuáticos asociados a diferentes tipos de hábitat como: empaques de hojas, vegetación colgante, vegetación emergente, madera sumergida y secciones de los sitios que presenten microhábitat como: pozas, remansos y rápidos, con un intervalo de 2 horas para cada unidad de muestreo (Alba-Tercedor, 1996).

Las muestras extraídas se colocaron en una bandeja blanca y de allí, con la ayuda de pinzas metálicas y lupa los individuos colectados fueron depositados en frascos plásticos debidamente rotulados, con alcohol al 70 % para la preservación de los organismos y luego las muestras llevadas al laboratorio. Este trabajo se llevó a cabo con la ayuda de estereoscopios y claves taxonómicas de Domínguez y Fernández (2009). La tabla 2 muestra las coordenadas de los puntos de muestreo de acuerdo al uso de suelo cultivos agrícolas, bosque y pastizal.

**TABLA 2:** Puntos de muestreo de calidad de agua por uso de suelo en la Microcuenca “El Sapanal”.

Nº de Punto de muestreo	Uso de suelo	Coordenadas	
		x Longitud	y Latitud
1	Cultivos agrícolas	695723	9889930
2	Cultivos agrícolas	695720	9889773
3	Cultivos agrícolas	695732	9889417
4	Cultivos agrícolas	695938	9889135
5	Bosque	696050	9888914
6	Bosque	696147	9888793
7	Bosque	696308	9888610
8	Bosque	696463	9888522
9	Pastizal	696442	9888039
10	Pastizal	696574	9887850
11	Pastizal	696882	9887532
12	Pastizal	697095	9887417

#### **4.3. Establecer el efecto de los distintos usos de suelo sobre la calidad del agua**

Se empleó en cada unidad de muestreo el índice biótico BMWP-Cr (*Biological Monitoring Working Party*) modificado para Costa Rica (MINAE, 2007), el mismo se lo calculo sumando las puntuaciones asignadas a los distintos taxones encontrados en las muestras de macroinvertebrados según su grado de sensibilidad a la contaminación citados en el listado de la Tabla 4. El puntaje se asignó una sola vez por familia, independientemente de la cantidad de individuos encontrados. La suma de los puntajes de todas las familias encontradas en el sitio de estudio brindo el valor final del índice. Este valor permitió determinar la calidad del agua según las categorías citadas en la Tabla 3.

**TABLA 3:** Categorías de las familias identificadas en Costa Rica. (Gaceta, 2007).

9	O D E P T	<i>Polythoridae</i> <i>Blephariceridae; Athericidae</i> <i>Heptageniidae</i> <i>Perlidae</i> <i>Lepidostomatidae; Odontoceridae; Hydrobiosidae; Ecnomidae</i>
8	E O T B	<i>Leptophlebiidae</i> <i>Cordulegastridae; Corduliidae; Aeshnidae; Perilestidae</i> <i>Limnephilidae; Calamoceratidae; Leptoceridae; Glossosomatidae</i> <i>Blaberidae</i>
7	C O T Cr	<i>Ptilodactylidae; Psephenidae; Lutrochidae</i> <i>Gomphidae; Lesliidae; Megapodagrionidae; Protoneuridae;</i> <i>Platystictidae</i> <i>Philopotamidae</i> <i>Talitridae; Gammaridae</i>
6	O M T E	<i>Libellulidae</i> <i>Corydalidae</i> <i>Hydroptilidae; Polycentropodidae; Xiphocentronidae</i> <i>Euthyplociidae; Isonychidae</i>
5	L T C E Cr Tr	<i>Pyralidae</i> <i>Hidropsychidae; Helicopsychidae</i> <i>Dryopidae; Hydraenidae; Elmidae; Limnichidae</i> <i>Leptohiphidae; Oligoneuriidae; Polymitarcyidae; Baetidae</i> <i>Crustacea</i> <i>Turbellaria</i>
4	C D  H O E Hi	<i>Chrysomelidae; Curculionidae; Haliplidae; Lampyridae;</i> <i>Staphylinidae; Dytiscidae; Gyrinidae; Scirtidae; Noteridae</i> <i>Dixidae; Simulidae; Tipulidae; Dolichopodidae; Empididae;</i> <i>Muscidae; Sciomyzidae; Cerapotonogonidae; Stratiomyidae; Tabanidae</i>  <i>Belostomatidae; Corixidae; Naucoridae; Pleidae; Nepidae;</i> <i>Notonectidae; Calopterygidae; Coenagrionidae</i> <i>Caenidae</i> <i>Hidracarina</i>
3	C D Mo  A Cr	<i>Hydrophilidae</i> <i>Psychodidae</i> <i>Valvatidae; Hidrobiidae; Lymnaeidae; Physidae; Planorbidae</i> <i>Bithyniidae; Bythinellidae; Sphaeridae</i> <i>Hirudea; Glossiphonidae; Hirudidae; Erpobdellidae</i> <i>Asellidae</i>
2	D	<i>Chironomidae; Culicidae; Ephydriidae</i>
1	D A	<i>Syrphidae</i> <i>Oligochatea ( todas las clases )</i>

Nota: D: *Díptera*; E: *Ephemeroptera*; P: *Plecóptera*; T: *Trichoptera*; O: *Odonata*; C: *Coleóptera*; M: *Megaloptera*; H: *Hemíptera*; L: *Lepidóptera*; B: *Blattodea*; Tr: *Tricladida*; Cr: *Crustacea*; A: *Annelida*; Mo: *Molusco*

El reglamento para la evaluación y clasificación de la calidad de cuerpos de agua superficiales de Costa Rica (MINAE, 2007), menciona que las aguas en ese país conforme a la clasificación según este índice adquiere valores comprendidos entre 0 y un máximo indeterminado que, en la práctica no suele superar 200. En función de este

puntaje se establecieron seis niveles de calidad para el agua de acuerdo a las características que se especifican en la tabla 4.

**TABLA 4:** Clasificación de la calidad del agua en función del puntaje total obtenido aplicando el índice BMWP-Cr. (MINAE, 2007).

<b>NIVEL DE CALIDAD</b>	<b>BMWP-Cr</b>	<b>Color Representativo</b>
Aguas de calidad excelente	> 120	Azul
Aguas de calidad buena, no contaminadas alteradas de manera sensible	101-119	Azul
Aguas de calidad regular, eutrofia, contaminación moderada	61-100	Verde
Aguas de calidad mala, contaminadas	36-60	Amarillo
Agua de calidad mala , muy contaminadas	16-35	Naranja
Aguas de calidad muy mala, extremadamente contaminadas	< 15	Rojo

El índice biológico BMWP-CR proporcionó información rápida sobre el estado del ecosistema acuático y los factores que lo perturban; por su bajo costo y facilidad de aplicación puede ser utilizado para un programa permanente de monitoreo de la calidad del agua en la microcuenca.

Para establecer el efecto de los distintos usos de suelo sobre la calidad del agua se utilizó los resultados del Índice BMWP-Cr calculados en las unidades de muestreo establecidas de acuerdo a los distintos usos de suelo.

#### **4.4. Diseño estadístico, análisis de Varianza (ANOVA) y Clúster**

Se empleó un diseño completamente al azar con tres tratamientos (categorías de uso de suelo) y cuatro repeticiones (puntos de muestreo) para la variable de respuesta del índice BMWP-Cr, el análisis de datos se realizó mediante análisis de varianza (ANOVA). Para la prueba de separación de medias se aplicó la Prueba de Tukey al 5% de probabilidad para establecer diferencias significativas entre los puntos de muestro de la zona de estudio con el uso del software STATISTICA versión 8.0 (StatSoft. Inc., 2007).

En cuanto a la estimación de la diversidad de las familias de macroinvertebrados bentónicos se utilizó el índice de equidad de Shannon Wiener que expresa la uniformidad de los valores de importancia a través de todas las especies de la muestra.

Mide el grado promedio de incertidumbre en predecir a que especie pertenecerá un individuo escogido al azar de una colección acuático (Moreno, 2001). Asume que los individuos son seleccionados al azar y que todas las especies están representadas en la muestra para lo que adquiere valores entre cero, cuando hay una sola especie, y el logaritmo de S, cuando todas las especies están representadas por el mismo número de individuos (Moreno, 2001). Se calcula mediante la siguiente expresión.

$$H = \sum (P_i \cdot \ln P_i)$$

En donde:

$P_i$ : proporción total de la muestra que pertenece a la especie “i”, con  $i = 1, 2, \dots, S$ ; donde “S” es el número total de especies presentes en la muestra.

El valor máximo que adquiere en los ríos para las comunidades de invertebrados benthicos es de 4,5. Valores inferiores a 2,4-2,5 indican que el sistema está sometido a tensión (vertidos, dragados, canalizaciones, regulación por embalses, etc). Es un índice que disminuye mucho en aguas muy contaminadas. Por tanto, cuanto mayor valor tome el índice de Shannon-Weaver, mayor calidad tendrá el agua objeto de estudio (Arce *et al.*, 2006). Posteriormente se analizó la composición de las familias de macroinvertebrados encontradas en los puntos de muestreo con un análisis Clúster, para lo cual se utilizó la siguiente expresión:

$$d_{mj} = \frac{N_k d_{kj} + N_l d_{lj}}{N_m}$$

Donde:

$N_k, N_l, N_m$  = Número de observaciones en los conglomerados k, l,  
m

$j$  = variables

El análisis de Clúster (1937), se lo utilizó con el fin de determinar las agrupaciones entre los puntos de muestreo de cada una de las categorías de uso de suelo con respecto a las familias de los macroinvertebrados identificados en la zona de estudio (González *et al.*, 2012), esto se complementó con el Índice de Jaccard (1908), el mismo que determinó la disimilitud, y similitud entre los sitios de muestreo este índice adquiere

valores de 1 cuando la similaridad de los individuos es completa entre los sitios y 0 cuando no presentan individuos en común (González *et al.*, 2012), se lo calculó mediante la siguiente ecuación:

$$I_j = \frac{c}{a + b - c}$$

Donde:

a= Número de familias existentes en el sitio A

b= Número de familias existentes en el sitio B

c= Número de familias existentes en A y B

Para calcular los índices mencionados anteriormente se utilizó el software Past 3.0 (Hammer, 2001).

#### **4.4. Caracterizar la actividad socioeconómica de la microcuenca “El Sapanal”**

La caracterización de las actividades socioeconómicas se realizaron por medio de encuestas y sondeos, además de la recopilación de información suministrada por informantes clave como: municipio, sector agrícola, representantes del sector comercial, gremial, adultos mayores, líderes, políticos, instituciones estatales y ONG. Para la tabulación de la información suministrada se empleó el software estadístico SPSS Statistics 22.0 (IBM Corporation, 2013) Esto generó una visión amplia y se conoció el uso que los habitantes de la microcuenca dan al suelo y como este contribuye al bienestar económico y social de sus habitantes, además de la función que para ellos cumple la microcuenca en la localidad, esta información permitió formular mediadas para la planificación adecuada de los recursos naturales en la microcuenca.

#### **4.5. Integración de los Sistemas de Información Geográfica**

Se utilizaron los datos del levantamiento con GPS realizado en la microcuenca, los cuales se procesaron empleando el software AutoCAD MAP 3D versión 2014 (Autodesk, 2014) aplicando las técnicas de geoprocésamiento para obtener mapas por cada componente hidrológico, pendientes, elevaciones, uso actual del suelo, uso ideal del suelo y uso posible.

#### **4.6. Formulación de lineamientos para el manejo de los recursos naturales en la microcuenca “El Sapanal”**

Se establecieron medidas para la planificación adecuada de los recursos naturales en la microcuenca, para lo cual se realizaron mapas de uso del suelo en base a las actividades socioeconómicas de la zona y los resultados obtenidos de la calidad del agua en los diferentes usos de suelo, generándose un mapa de uso de suelo ideal y otro mapa de uso de suelo posible de ejecutar por las comunidades asentadas en el lugar los mismos que contemplaron la generación de zonas de protección permanente, zona de reforestación, zona de bosque secundario, zona silvopastoril y zona de uso agrícola con el fin de establecer alternativas de uso del suelo para cada zona mejorando la calidad de vida de las personas asentadas en la microcuenca y el manejo de los recursos naturales.

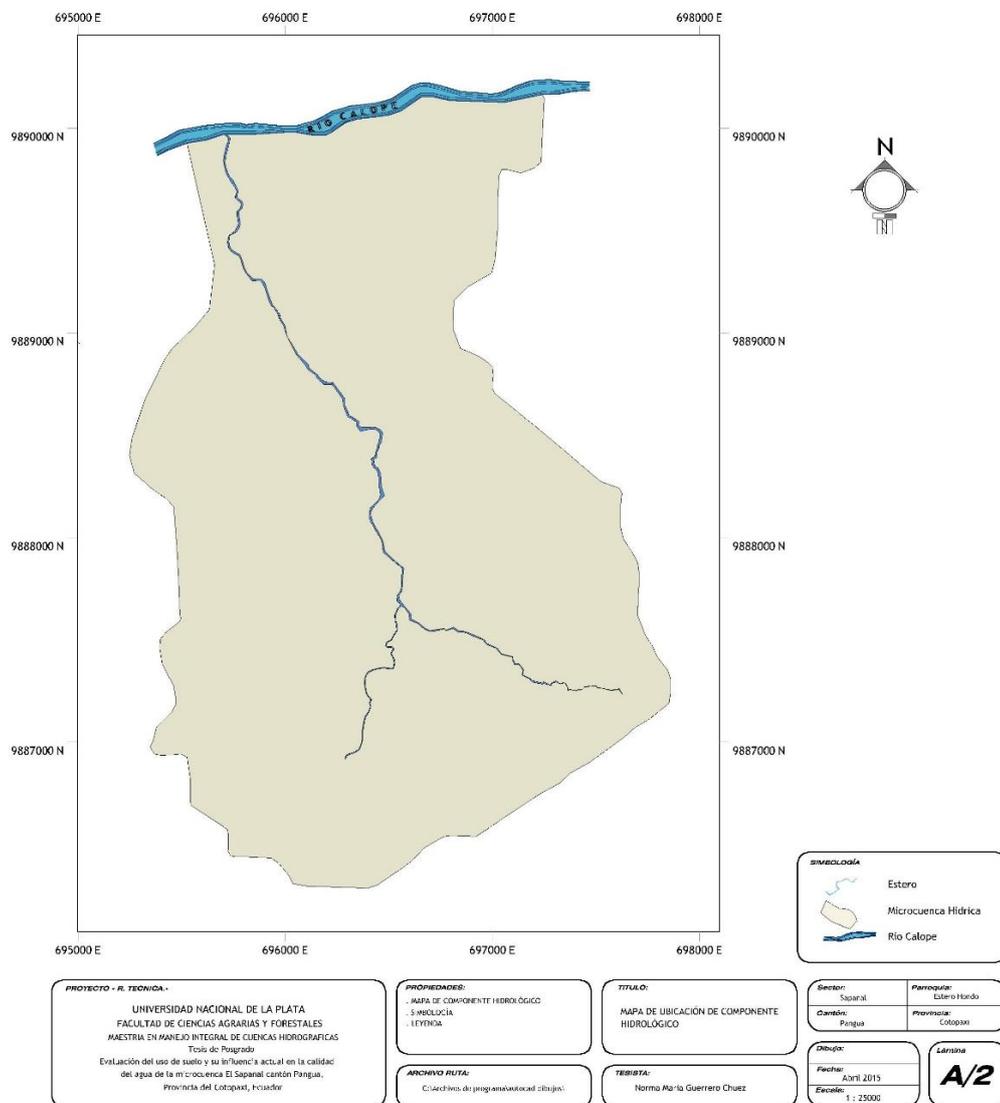
## CAPÍTULO 5

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 5.1. Caracterización biofísica y usos de suelo de la microcuenca “El Sapanal”

##### 5.1.1. Componente hidrológico

El arroyo Sapanal cuenta con un área de 33,071 ha y con una longitud de 5170,42 m que va de sur a norte y es tributario directo del río Calope, su importancia radica en que es la fuente de captación parcial para el sistema de agua de la Junta de Agua Potable y Alcantarillado del Sistema Regional Chipe Hamburgo el sistema se aprecia en la figura 2.



**FIGURA 2:** Mapa de ubicación del componente hidrológico de la microcuenca “El Sapanal”. Fuente: Guerrero, 2014.

### 5.1.2. Pendientes del suelo

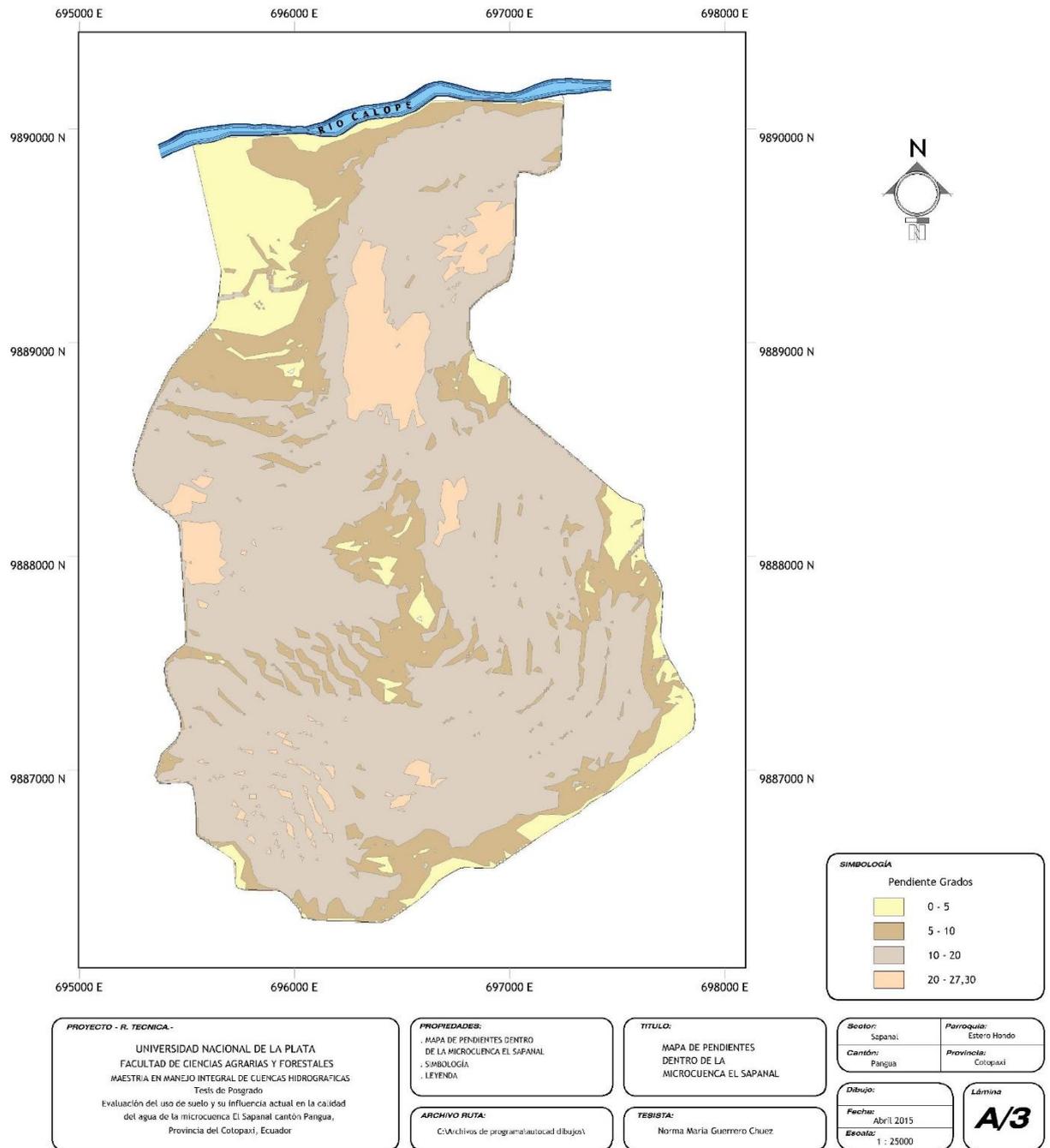
La microcuenca “El Sapanal” posee una superficie plana de 666,107 ha en el que se determinó 4 niveles de pendientes como se aprecia en la figura 3. Estas van de 0 a 27,30 grados, predominando el rango de 10-20 grados con un área de 415,588 ha categorizada la pendiente como fuerte, y teniendo un grado de erodabilidad alto. La tabla 5 muestra los rangos de las pendientes y sus áreas correspondientes mientras que la tabla 6 los grados de erodabilidad del suelo en función de la pendiente.

**TABLA 5:** Rangos de pendientes y áreas dentro de la Microcuenca “El Sapanal”.

Rangos de Pendiente (°)	Área (ha)
0-5	62,4511
5-10	144,1994
10-20	415,5884
20-27,30	43,8687

**TABLA 6:** Grados de erodabilidad en función del rango y tipo de pendiente de la microcuenca “El Sapanal”. (Rugiero, 2006).

Rangos de Pendiente (°)	Tipo de Pendiente	Grado de erodabilidad
0-2	Horizontal	Muy bajo
2-5	Suave	Bajo
5-10	Moderada	Moderado
10-20	Fuerte	Alto
20 y mas	Moderadamente escarpada a acantilada	Muy alto



**FIGURA 3:** Mapa de pendientes en la microcuenca “El Sapanal”. Fuente: Guerrero, 2014.

### 5.1.3. Elevaciones

Como se aprecia en la figura 4 las elevaciones de la microcuenca “El Sapanal” presentan alturas mínimas de 275 msnm y máximas de 900 msnm, el intervalo de 800-900 msnm contiene la menor área inclinada de 30,815 ha mientras que el intervalo de 275-350 msnm contiene una mayor área inclinada de 189,566 ha tal como se muestra en la tabla 7.

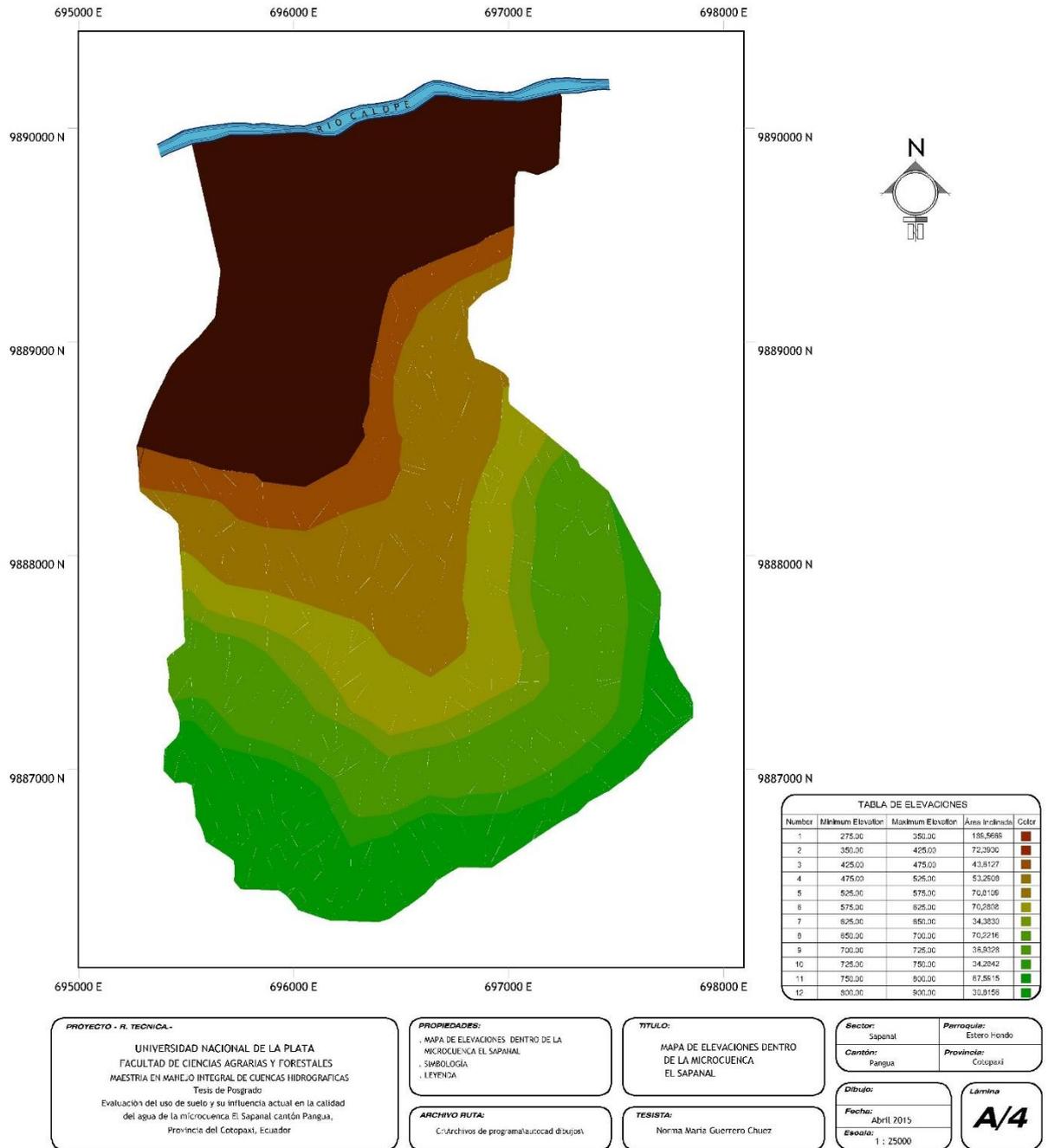


FIGURA 4: Mapa de elevaciones en la microcuenca “El Sapanal”. Fuente: Guerrero, 2014.

**TABLA 7:** Elevaciones dentro de la Microcuenca “El Sapanal”.

Number	Elevación mínima	Elevación máxima	Área inclinada (ha)
1	275	350	189,566
2	350	425	72,392
3	425	475	43,612
4	475	525	53,290
5	525	575	70,810
6	575	625	70,280
7	625	650	34,382
8	650	700	70,221
9	700	725	36,932
10	725	750	34,284
11	750	800	67,591
12	800	900	30,815
Total			774,183

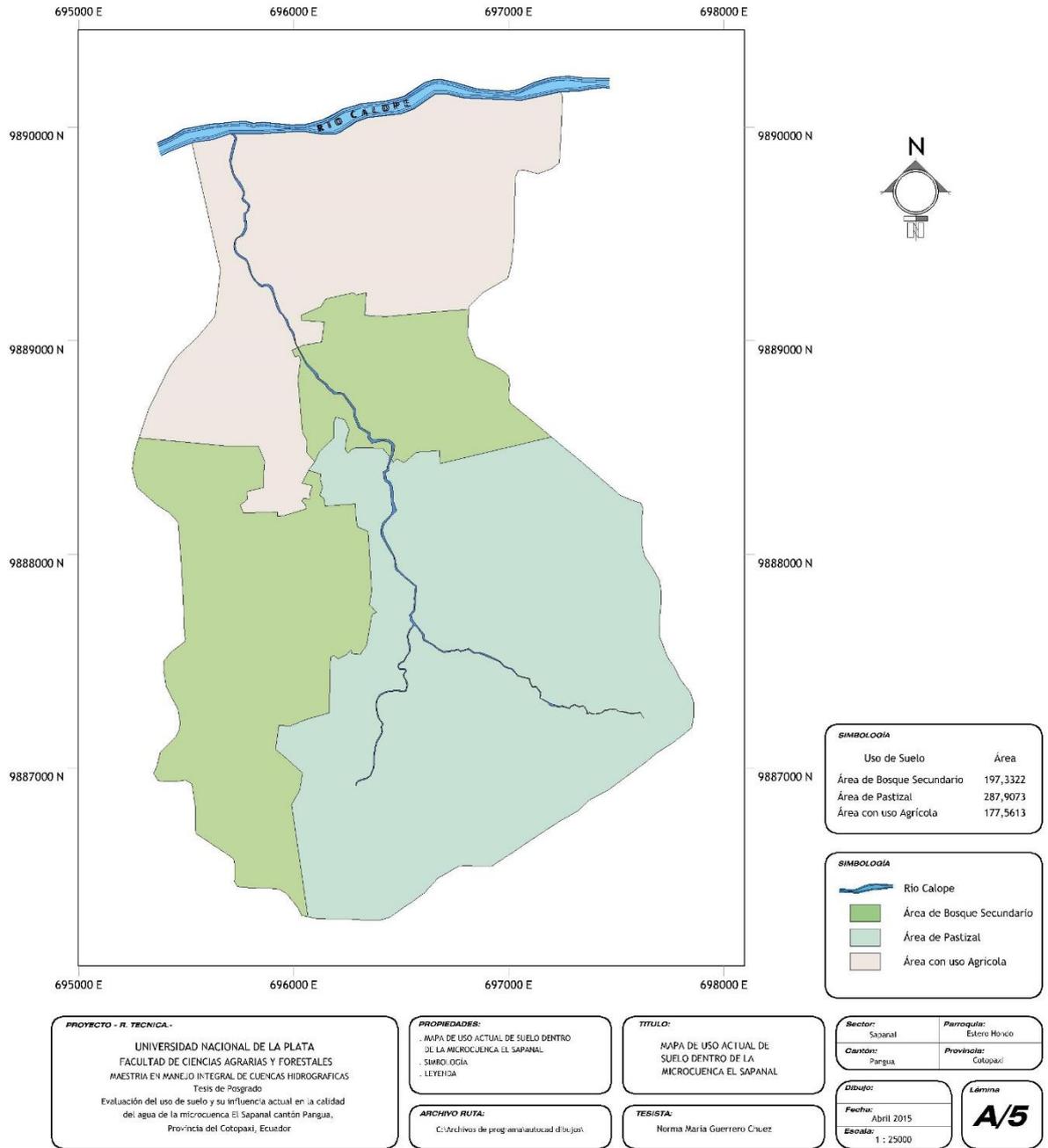
ha: Hectárea unidad de superficie

#### 5.1.4. Uso de suelo actual de la microcuenca “El Sapanal”

El uso actual del suelo en la microcuenca “El Sapanal” está conformado principalmente por un área de pastizal que abarca los 287,907 ha (figura 5), ocupado por *Pennisetum ssp* (pasto), presente en la parte central, sureste y suroeste del área de estudio. Los habitantes de la zona realizan esta práctica desde hace más de una década ejecutando prácticas de manejo como la rotación de áreas de pastoreo aplicación de herbicidas, siembra de plantas forrajeras, en algunos casos quema de vegetación y control manual de malezas. En cuanto al consumo de agua por el ganado en su mayoría lo toman directamente del arroyo, por lo que no cuentan con otro tipo de método, que abastezca al ganado del líquido vital. Mientras que el bosque secundario ocupa un total de 197,332 ha en el se encuentran formaciones boscosas ocupados en su mayoría por *Guarea sp* (manzano colorado), *Grias sp.* (membrillo) *Aspidosperma sp*, *Carica sp*, y

*Pouteria caimito* (cauje). Actualmente la población en general utilizan estos espacios como sitios de recreación al igual que las cascadas de la microcuenca.

Finalmente el uso de suelo agrícola ocupa 177,561 ha del área de la microcuenca, dedicada al cultivo de *Manihot esculenta* (yuca), *Theobroma cacao* (cacao), especies frutales como: *Carica papaya* (papaya), *Citrus sinensis* (naranja), *Citrus reticulata* (mandarina), *psidium* (guayaba), *citrus x limón* (limón) y plantaciones forestales de *Ochroma pyramidale* (balsa). Por su parte los pobladores utilizan técnicas manuales para preparar el terreno razón por la cual no utilizan ningún tipo de mecanización del suelo. En cuanto a los insumos utilizados se destacan los fertilizantes químicos, abonos orgánicos que también los combinan con diferentes técnicas de conservación de suelo como cortinas rompe vientos, barreras orgánicas contra pendiente y abonos verdes tal como se muestra en la tabla 8 en la que se observan las áreas que corresponden a cada uso de suelo.



**FIGURA 5:** Mapa de uso actual de suelo de la microcuenca “El Sapanal”. Fuente: Guerrero, 2014.

**TABLA 8:** Uso de suelo actual en la microcuenca “El Sapanal”

Uso de Suelo	Área
Área de Bosque Secundario	197,332 ha
Área de Pastizal	287,907 ha
Área de Cultivos agrícolas	177,561 ha

ha: Hectárea unidad de superficie

## 5.2. Calidad del agua de la microcuenca “El Sapanal”

### 5.2.1 Entomofauna encontrada.

A partir de la identificación de las familias de macroinvertebrados dentro de la microcuenca “El Sapanal” durante la época seca (septiembre a diciembre) en los diferentes usos de suelo cultivos agrícolas, pastizal y bosque se determinó que los órdenes con mayor abundancia fueron: Trichoptera familia *Hydropsychidae* (47) y *Leptoceridae* (38); seguido del orden Coleóptera correspondiente a la familia *Elmidae* (47); y el orden Hemíptera familia *Naucoridae* con (41). Algo similar fue reportado por Yong (2015), en tres sitios de estudio, ubicados en el Bosque Protector Murocomba en la provincia de Los Ríos del Ecuador, donde se obtuvo como más abundante a las familias *Hydropsychidae* con 632, y *Elmidae* con 500 respectivamente. Entre tanto que los órdenes menos abundantes fueron Lepidóptera familia *Pyrilidae* (7) y el orden Díptera familia *Stratiomyidae* (12) como se muestra en la tabla 9.

Se colectaron en total 8224 individuos distribuidos en 32 familias y 10 ordenes (tabla. 10) siendo las familias más representativas en función al total del número de individuos dentro de los diferentes usos de suelo *Hydropsychidae* con 1388 individuos seguido de *Elmidae* con 1085 y *Leptoceridae* con 865 individuos respectivamente y en los últimos lugares las familias que registraron menor número de individuos fueron *Pyrilidae* con 17 y *Stratiomyidae* con 23 individuos.

Duarte (2014), menciona que la familia *Hydropsychidae* es una de las dominantes en aguas corrientes, tanto por su número, como por su diversidad, dada su capacidad para colonizar diferentes tipos de sustratos (roca, arena, grava, hojarasca) además afirma que posee una capacidad para tolerar diferentes tipos de ambientes, desde aguas completamente limpias hasta aguas con algún grado de intervención antrópica.

Los macroinvertebrados dulceacuícolas son un eslabón importante en la estructura trófica de los ambientes acuáticos por participar activamente en el reciclamiento de los nutrientes. Las proporciones encontradas de cada grupo funcional están en relación a la disponibilidad de los recursos (Peralta, Deloya, & Moreno, 2007).

Los puntos de monitoreo por mes y uso de suelo que mostraron mayor número de individuos fue bosque tanto para octubre -4 con 467 individuos seguido de octubre -2 con 453 individuos como para diciembre-1 con 435 individuos. Entre tanto que puntos que presentaron menor número de individuos se concentraron en el uso de suelo agrícola, octubre-4 con 15 individuos y octubre-3 con 16 individuos respectivamente, coincidiendo con Alonso (2006), quien explica que la ausencia de la vegetación ribereña empobrece la composición de macroinvertebrados bentónicos.





### 5.2.2 Índice de Shannon-Wiener

La tabla 11 muestra los promedios de los sitios de muestreo correspondiente a los meses de colecta en la cual se aprecia que el uso de suelo bosque presentó el mayor número de familias dentro de los meses de septiembre (25), octubre (25), noviembre (25) y diciembre (28) a diferencia de cultivos agrícolas generándose un menor número de familias para el mes de noviembre (18). De igual forma bosque mostro una alta cantidad de individuos durante todos los meses de muestreo septiembre (386.25), octubre (438), noviembre (391) y diciembre (397) mientras que el sitio cultivos agrícolas mostro un menor número de individuos para el mes octubre (25,25).

Por otra parte el índice de diversidad de Shannon mostro que el uso de suelo por pastizal presento una diversidad baja (2,32), indicando que el sistema está sometido a tensión por actividades antropogenicas esto se atribuye posiblemente a la poca vegetación marginal y por ende al deficiente aporte de hojarasca por parte de la vegetación ribereña y en algunos de los sitios nula. Algo similar fue reportado por Yong (2015), el mismo que obtuvo un rango de 2,2 a 2,3 para el Índice de Shannon-Wiener en los arroyos La Victoria, La Damita y El Congo ubicados en el bosque protector Murocomba en Ecuador. De acuerdo a trabajos realizados por Rúa y Roldán (2008), la cantidad y la calidad del recurso alimenticio que aporta la vegetación de ribera con la hojarasca, determina la disponibilidad de nutrientes para la comunidad de macroinvertebrados, por lo que afecta su riqueza y diversidad.

Esta transformación de bosques nativos en pasturas afecta las cuencas de drenaje, lo cual repercute en las condiciones ecológicas de cada río. El efecto de la ganadería se relaciona con la pérdida de la vegetación ribereña, que significa tanto pérdida de protección por sombreo como de aporte de materia orgánica gruesa (Kutschker *et al.*, 2009).

Contrariamente los usos de suelo por cultivos agrícolas (2,69) y bosque (2,83), difieren notablemente indicando que en estos sitios existe una alta diversidad en las familias de macroinvertebrados debido a la combinación de sustrato de rocas con vegetación ribereña de bosque y cultivos perennes como el de cacao aportando mayor cantidad de hojarasca. Según Meza *et al.*, (2012) los fondos arenosos tanto en sistemas loticos como lenticos albergan pocas especies, con pocos individuos por especie. Los fondos pedregosos suelen ser más ricos, en especial cuando las rocas son grandes y cuando hay vegetación ribereña

la fauna es aún más diversa. Además, argumentan que los sustratos dominados por hojarasca brindan una mayor disponibilidad de recursos, por lo que además de presentar una alta riqueza de especies permiten sostener una mayor densidad de organismos.

**TABLA 11:** Familias, número de individuos e Índices de diversidad entre los diferentes uso de suelo y meses de muestreo de macroinvertebrados acuáticos en la microcuenca “El Sapanal”

ÍNDICE	CULTIVO AGRÍCOLA				BOSQUE				PASTIZAL			
	Sep	Oct	Nov	Dic	Sept	Oct	Nov	Dic	Sept	Oct	Nov	Dic
Taxa S	22	26	18	19	25	25	25	28	21	23	22	22
Individuals	40	25.25	26.5	29.25	386.25	438	391	397	105.5	72.5	73.25	70.5
Shannon H	2.65	2.90	2.54	2.70	2.68	2.83	2.85	2.95	2.21	2.18	2.35	2.54

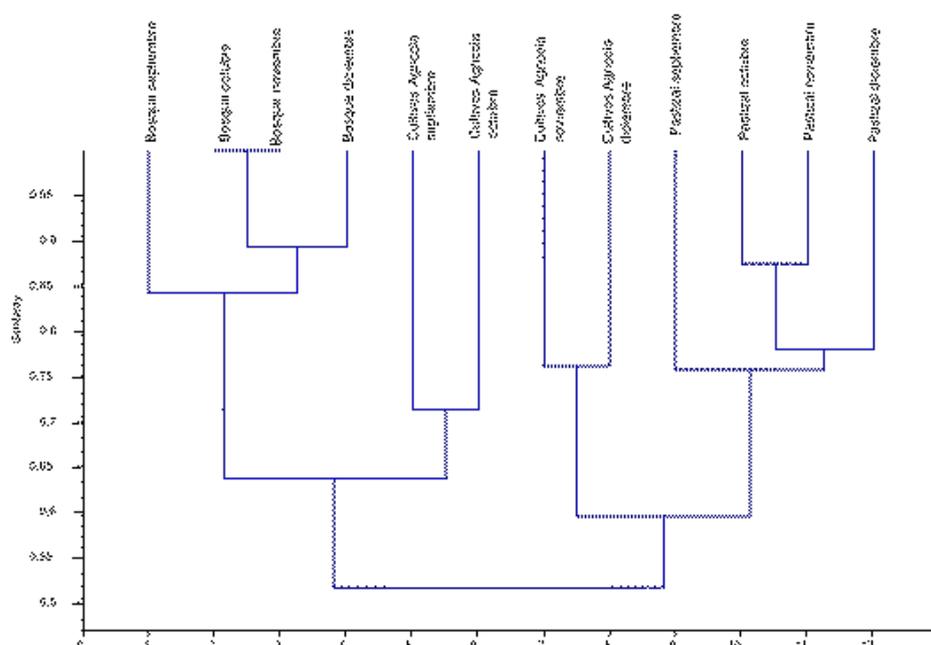
### 5.2.3 Índice de Similitud de Jaccard

Existen diferencias en el porcentaje de similitud de las familias encontradas entre los meses de muestreo de los diferentes usos de suelo, obteniendo como resultado que los puntos de muestreo cultivo agrícola septiembre y noviembre (0,379) seguido de cultivo agrícola noviembre y bosque septiembre (0,387) y cultivo agrícola septiembre y diciembre (0,414) presentaron menor similitud entre los sitios en función de las familias de macroinvertebrados encontradas debido posiblemente a las condiciones ambientales de los sitios durante los meses de muestreo. De acuerdo a Kutschker *et al.*, (2009), las comunidades desarrollan estrategias biológicas y dinámicas a lo largo del sistema, que a su vez está gobernado por factores físicos. De esto se desprende que las interacciones entre ecosistemas acuáticos y terrestres son múltiples y las alteraciones a nivel de cuenca pueden producir desviaciones en el equilibrio natural de los cuerpos de agua (Kutschker *et al.*, 2009).

A diferencia de los puntos bosque octubre y noviembre los mismos que presentaron mayor similitud (1) seguidos por bosque octubre y diciembre (0,893) y bosque noviembre y diciembre (0,893) (Tabla 12), probablemente se debe a la cercanía entre sitios y las características físico-bióticas similares que poseen presentando un bosque ribereño exuberante con una reducida perturbación. Tal suceso es apoyado por el estudio de Pino y Bernal (2009), realizado en el río Santa María en la provincia de Veraguas, donde encontraron una gran diversidad de insectos en un área bien reforestada.

**TABLA 12:** Índice de Similaridad de Jaccard entre los sitios de estudio entre los diferentes uso de suelo y meses de muestreo de macroinvertebrados acuáticos en la microcuenca “El Sapanal” cantón Pangua.

		CULTIVO AGRÍCOLA				BOSQUE				PASTIZAL			
		Sept	Oct	Nov	Dic	Sep	Oct	Nov	Dic	Sep	Oct	Nov	Dic
CULTIVO AGRÍCOLA	Septiembre		0.714	0.379	0.414	0.621	0.567	0.567	0.563	0.536	0.552	0.571	0.467
	Octubre			0.571	0.500	0.700	0.700	0.700	0.688	0.621	0.690	0.655	0.655
	Noviembre				0.762	0.387	0.433	0.433	0.438	0.560	0.640	0.600	0.538
	Diciembre					0.419	0.419	0.419	0.469	0.600	0.680	0.577	0.577
BOSQUE	Septiembre						0.852	0.852	0.828	0.438	0.500	0.469	0.516
	Octubre							1.000	0.893	0.533	0.548	0.516	0.567
	Noviembre								0.893	0.533	0.548	0.516	0.567
	Diciembre									0.581	0.594	0.563	0.613
PASTIZAL	Septiembre										0.833	0.720	0.720
	Octubre											0.875	0.800
	Noviembre												0.760
	Diciembre												



**FIGURA 6:** Dendrograma análisis de similaridad entre los diferentes uso de suelo y meses de muestreo de macroinvertebrados acuáticos en la microcuenca “El Sapanal” cantón Pangua.

Según el dendrograma Figura 6, se forman cuatro grupos al 70 % de similitud bien diferenciados formandose el primero por bosque correspondiente a los meses de septiembre, octubre, noviembre, y diciembre el segundo por cultivos agrícolas octubre y

septiembre el tercero por cultivos agrícolas noviembre y diciembre y finalmente el grupo cuatro integrado por pastizal septiembre, octubre, noviembre y diciembre. Como se lo menciono anteriormente estos resultados se deban posiblemente a las condiciones ambientales y a la influencia de la vegetación ribereña de cada uno de los sitios durante los meses de muestro.

### 5.2.4 Efectos de los diferentes usos de suelo sobre la calidad del agua de la microcuenca “El Sapanal” mediante la utilización del Índice BMWP-CR

**TABLA 13:** Nivel de calidad del agua en los diferentes usos de suelo de la microcuenca “El Sapanal” cantón Pangua durante los meses de septiembre, octubre, noviembre y diciembre.

Uso de Suelo	Meses/ Repeticiones		BMWP-Cr	Nivel de Calidad
Cultivos Agrícolas	Septiembre	1	84	Aguas de calidad regular, eutrofia, contaminación moderada
		2	55	Aguas de calidad regular, eutrofia, contaminación moderada
		3	70	Aguas de calidad regular, eutrofia, contaminación moderada
		4	65	Aguas de calidad regular, eutrofia, contaminación moderada
	Octubre	1	95	Aguas de calidad regular, eutrofia, contaminación moderada
		2	77	Aguas de calidad regular, eutrofia, contaminación moderada
		3	49	Aguas de calidad mala, contaminadas
		4	45	Aguas de calidad mala, contaminadas
	Noviembre	1	64	Aguas de calidad regular, eutrofia, contaminación moderada
		2	35	Aguas de calidad mala, contaminadas
		3	64	Aguas de calidad regular, eutrofia, contaminación moderada
		4	36	Aguas de calidad mala, contaminadas
	Diciembre	1	71	Aguas de calidad regular, eutrofia, contaminación moderada
		2	49	Aguas de calidad mala, contaminadas
		3	73	Aguas de calidad regular, eutrofia, contaminación moderada
		4	57	Aguas de calidad mala, contaminadas
Pastizal	Septiembre	1	62	Aguas de calidad regular, eutrofia, contaminación moderada
		2	59	Aguas de calidad mala, contaminadas
		3	70	Aguas de calidad regular, eutrofia, contaminación moderada
		4	79	Aguas de calidad regular, eutrofia, contaminación moderada
	Octubre	1	76	Aguas de calidad regular, eutrofia, contaminación moderada
		2	61	Aguas de calidad regular, eutrofia, contaminación moderada
		3	79	Aguas de calidad regular, eutrofia, contaminación moderada
		4	49	Aguas de calidad mala, contaminadas
	Noviembre	1	82	Aguas de calidad regular, eutrofia, contaminación moderada
		2	56	Aguas de calidad mala, contaminadas
		3	87	Aguas de calidad regular, eutrofia, contaminación moderada
		4	66	Aguas de calidad regular, eutrofia, contaminación moderada
	Diciembre	1	65	Aguas de calidad regular, eutrofia, contaminación moderada
		2	66	Aguas de calidad regular, eutrofia, contaminación moderada
		3	70	Aguas de calidad regular, eutrofia, contaminación moderada
		4	79	Aguas de calidad regular, eutrofia, contaminación moderada
Bosque	Septiembre	1	116	Aguas de calidad buena, no contaminadas alteradas de manera sensible
		2	106	Aguas de calidad buena, no contaminadas alteradas de manera sensible
		3	117	Aguas de calidad buena, no contaminadas alteradas de manera sensible
		4	112	Aguas de calidad buena, no contaminadas alteradas de manera sensible
	Octubre	1	123	Aguas de calidad excelente
		2	142	Aguas de calidad excelente
		3	121	Aguas de calidad excelente
		4	139	Aguas de calidad excelente
	Noviembre	1	144	Aguas de calidad excelente
		2	137	Aguas de calidad excelente
		3	135	Aguas de calidad excelente
		4	146	Aguas de calidad excelente
	Diciembre	1	158	Aguas de calidad excelente
		2	153	Aguas de calidad excelente
		3	157	Aguas de calidad excelente
		4	160	Aguas de calidad excelente

Al evaluar la calidad del agua en los diferentes puntos de muestreo y uso de suelo dentro de la microcuenca “El Sapanal” se determinó que al aplicar el Índice BMWP-Cr en cultivos agrícolas presento varios valores en un rango de 36-60 para los meses y puntos de muestreo octubre-3 (49), noviembre-2 (35), noviembre-4 (36), diciembre-2 (49) y diciembre-4 (57) al igual que pastizal para los meses de septiembre-2 (59), octubre-4 (49) y noviembre-2 (56) lo que corresponde a aguas de calidad mala, contaminadas. Algo similar se dio en un estudio realizado al este de Australia por Kutschker *et al.*, (2009) donde la ganadería y agricultura conducida con deficientes prácticas de manejo ha conducido a la degradación sustancial de las condiciones de las riberas, del hábitat interior de los ríos y arroyos de la calidad de sus aguas. Además, con la entrada del ganado a las quebradas y ríos para tomar agua y en su paso entre potreros, se genera deterioro de los cauces por pisoteo incrementando la erosión. A esto se agrega el aporte de materia fecal y lixiviación de fertilizantes y pesticidas contribuyendo a deteriorar la calidad del agua (Chará *et al.*, 2006).

El uso de insumos agrícolas utilizados por los agricultores en los que se destacaron los fertilizantes químicos y la aplicación de herbicidas en los ganaderos podría ser una de las causas que ocasionaron el nivel de mala calidad en los sitios. De acuerdo a Meza *et al.*, (2012), la contaminación agroquímica generada por el uso deficiente de agroquímicos afectan a los recursos hídricos generando una degradación de la calidad del agua además de un incremento de la carga orgánica y aumento de la sedimentación. Específicamente en la ganadería, especialmente los sistemas tradicionales que emplean sistemas sin árboles y un alto uso de insumos externos provocan la degradación de las pasturas y de los suelos. Esto se manifiesta en otros problemas ambientales, como pérdida de la biodiversidad, aumento de la escorrentía superficial y erosión hídrica, e incremento en la emisión de gases de efecto invernadero (Zapata *et al.*, 2006).

Según Kutschker *et al.*, (2009) las comunidades desarrollan estrategias biológicas y dinámicas a lo largo del sistema, que a su vez está gobernado por factores físicos. De esto se desprende que las interacciones entre ecosistemas acuáticos y terrestres son múltiples y las alteraciones a nivel de cuenca pueden producir desviaciones en el equilibrio natural de los cuerpos de agua.

El bosque para los meses de octubre, noviembre y diciembre presento valores mayores a 120 correspondientes a agua de calidad excelente, a excepción de septiembre que presento valores entre un rango de 101-119 lo que corresponde a aguas de calidad buena, no contaminadas alteradas de manera sensible tal como se muestra en la tabla 13. Estos resultados posiblemente se deban al hecho de poseer una alta diversidad y abundancia de familias de macroinvertebrados que solo habitan en lugares con buena condición ecológica como la familia *Perlidae* del orden Plecóptera. Estos organismos sólo se pueden encontrar en un hábitat libre de alguna contaminación, pues son muy susceptibles al deterioro de un ecosistema acuático (Pino & Bernal, 2009). Esto demuestra la interacción existente entre el río y el ecosistema terrestre adyacente, siendo justamente el bosque de ribera el que sustenta la conectividad entre ambos ambientes constituyendo un elemento clave para la conservación del estado ecológico de los ríos (Kutschker *et al.*, 2009).

### 5.2.5 Análisis de varianza (ANOVA) para los resultados obtenidos por tipo de cultivo, mes y punto de muestreo del Índice BMWP-Cr

**TABLA 14:** Análisis de Varianza (ANOVA) del Índice BMWP-Cr en los puntos de muestreo

Fuentes de variación	Grados de Libertad	BMWP-Cr SS	BMWP-Cr MS	BMWP-Cr F	BMWP-Cr P
Intercept	1	378252,5	378252,5	1704,198	0,000000
Tratamiento	2	52554,5	26277,3	118,391	0,000000
Bloque	3	1149,9	383,3	1,727	0,176067
Error	42	9322	222		
Total	47	63026,5			

Nota: SS: Suma de cuadrados; MS: Cuadrados medios; F: F calculada; P: Probabilidad.

Según el análisis de varianza (ANOVA) existen diferencias significativas entre los usos de suelo al 95 % de probabilidad, las mismas que podrían ser atribuidas a las condiciones particulares de cada hábitat sean estos lenticos o loticos presente en los diferentes usos de suelo todo esto sumado a las actividades antropogénicas que se realizan a las orillas del arroyo “El Sapanal” (tabla 14). Según estudios realizados por Guevara (2011), los cambios ambientales tienen una fuerte influencia en la distribución, abundancia y riqueza de insectos acuáticos en los cuerpos de agua. Por otra parte no existen diferencias significativas entre los meses de evaluación (septiembre, octubre, noviembre y diciembre) debido a la similaridad de macroinvertebrados acuáticos presentes por cada uso de suelo.

**Tabla 15:** Prueba de Tukey del Índice BMWP-Cr para los usos de suelo de la microcuenca “El Sapanal”, Cantón Pangua.

Nº	Tratamiento	BMWP-Cr Media
1	C. Agrícola	61,8125 b
2	Pastizal	69,125 b
3	Bosque	135,375 a

Existen diferencias significativas entre las diferentes uso de suelo, para la variable Índice BMWP-Cr difiriendo el uso de bosque con 135,3750, del uso de suelo agrícola y pastizal con 61,8125 y 69,1250 respectivamente, los cuales no presentan diferencias significativas entre si según la prueba de Tukey al 0,05 de probabilidad. De acuerdo al nivel de calidad del agua, la interpretación para el promedio del Índice BMWP-Cr en uso de suelo bosque (135,37) posee aguas de calidad excelente, a diferencia del uso de suelo agrícola (61,81) y pastizal (69,12) presentaron aguas de calidad regular, eutrofia, contaminación moderada (Tabla 15). Diversos autores, mencionan en sus trabajos la importancia del bosque ribereño como área de amortiguamiento, tras los impactos que pueden tener la agricultura y la ganadería sobre la calidad de agua en la cuenca y en la estabilización del suelo de las quebradas (Meza *et al.*, 2012). Además, juega un papel importante al retardar y reducir la escorrentía superficial, utilizar el exceso de nutrientes, atrapar los sedimentos y otros contaminantes que se desprenden de los suelos descubiertos o suelos de cultivos y proteger los cuerpos de agua (Meza *et al.*, 2012).

### **5.2.6 Caracterización de la actividad socioeconómica de la microcuenca “El Sapanal”, cantón Pangua, provincia de Cotopaxi**

Para la caracterización de la actividad socioeconómica de la microcuenca “El Sapanal”, se realizaron 12 preguntas a 95 encuestados (Anexo 1), estos son los principales resultados:

#### **5.2.6.1. Uso de suelo**

##### **✓ Actividades de trabajo realizadas dentro de la microcuenca**

Entre las actividades que realizan los pobladores de dentro de la microcuenca el primer lugar lo ocupa la ganadería con el 47,4 %, seguido de la agricultura con el

45,3 % y la porcicultura con el 2,0 % mientras que las actividades domésticas corresponden al 5,3 % tal como lo muestra la tabla 16.

**TABLA 16:** Tipos de trabajo realizados en microcuenca “El Sapanal”

<b>Tipo de trabajo que realizan</b>	<b>Frecuencia</b>	<b>Porcentaje (%)</b>
Ganadería	45	47,4
Agricultura	43	45,3
Quehaceres domésticos	5	5,3
Porcicultura	2	2,0
Total	95	100,0

### 5.2.6.2 Agricultura

El uso de suelo dentro del sector presenta varios tipos de cultivos de acuerdo a la tabla 17 los más destacados son los cultivos de cacao con el 32,6 % seguido de las plantaciones forestales con el 20,9 %, y los cultivos agroforestales (cacao + arboles) con el 18,6 % siendo los cultivos menos frecuentes los cultivos de ciclo corto (yuca y maíz) con el 16,3 % y las especies frutales como: papaya, naranja, mandarina, guayaba, y limón con el 11,6 %. La mayoría de estos cultivos son perennes. Por otra parte las técnicas utilizadas por los pobladores para preparar el terreno es de tipo manual por lo que no utilizan ningún tipo de mecanización del suelo.

**TABLA 17:** Tipos de cultivos en la microcuenca “El Sapanal”

<b>Tipo de cultivo</b>	<b>Frecuencia</b>	<b>Porcentaje (%)</b>
Cacao	14	32,6
Plantaciones forestales	9	20,9
Agroforestal (arboles + cacao)	8	18,6
Cultivos de ciclo corto	7	16,3
Frutales	5	11,6
Total	43	100,0

De acuerdo a la percepción de las personas que habitan en la zona de la microcuenca “El Sapanal” el 49,5 % de los suelos presentan leves problemas de erosión, seguido de un 36,8 % correspondiente a una erosión moderada mientras que el 7,4 % presenta erosión nula. Tal como se muestra en la tabla 18.

**TABLA 18:** Erosión de suelo en microcuenca “El Sapanal”

Erosión de suelo	Frecuencia	Porcentaje (%)
Leve	47	49,5
Moderada	35	36,8
Severa	6	6,3
Nula	7	7,4
Total	95	100,0

Para la conservación del suelo los pobladores del lugar dedicados a la agricultura utilizan diferentes técnicas dentro de sus cultivos, entre las que se destacan cortinas rompe vientos con un 46,5 % seguidos de barreras orgánicas contra pendiente con un 28,0 % y abonos verdes con un 18,0 % tal como se muestra en la tabla 19.

**TABLA 19:** Técnicas de conservación de suelo en microcuenca “El Sapanal”.

Técnicas de conservación de suelo	Frecuencia	Porcentaje (%)
Cortinas rompe vientos	20	46,5
Barreras orgánicas contra pendiente	14	28,0
Abonos verdes	9	18,0
Total	43	100,0

La tabla 20 muestra información acerca de los insumos agrícolas frecuentemente utilizados para la agricultura en la microcuenca “El Sapanal” entre los que se destacan los fertilizantes químicos (74,4 %) y los abonos orgánicos (25,5 %).

**TABLA 20:** Insumos agrícolas utilizados en la microcuenca “El Sapanal”.

Insumos agrícolas utilizados	Frecuencia	Porcentaje (%)
Fertilizantes químicos	32	74,4
Abonos orgánicos	11	25,6
Total	43	100,0

Los pobladores encuestados mencionaron algunos de los temas que desearían se brinde mayor información para el mejoramiento del suelo en el sector de la microcuenca entre los que se destacan buenas prácticas agrícolas con el 43,2 %, control de la erosión 29,5 %, y manejo de desechos 16,8 % mientras que los últimos lugares lo ocupan la reforestación con el 8,4 % y el ecoturismo con el 2,1% como se muestra en la tabla 21.

**TABLA 21:** Problemas de manejo de suelo en la microcuenca “El Sapanal”

Asesoramiento para el manejo del suelo	Frecuencia	Porcentaje (%)
Buenas prácticas agrícolas	41	43,2
Control de la erosión	28	29,5
Manejo de desechos	16	16,8
Reforestación	8	8,4
Ecoturismo	2	2,1
Total	95	100,0

### 5.2.6.3 Ganadería

De acuerdo a la información brindada por los pobladores en cuanto al número de ganado que poseen, aproximadamente existe un total de 480 vacas utilizadas para leche y carne en un área de 287 hectáreas dedicadas a la ganadería, obteniéndose una carga de animal por unidad de superficie de 1,6 vacas por hectárea, el 42,2 % de ellos tienen un promedio de 11-20 vacas, seguido por 35,6 % con un promedio de 21-30 mientras que el 4,4 % tienen un promedio de 6-10, tal como se muestra en la en la tabla 22.

**TABLA 22:** Número de animales destinados a la ganadería en la microcuenca “El Sapanal”

Número de animales destinados a la ganadería	Frecuencia	Porcentaje (%)
0-5	8	17,8
6-10	2	4,4
11-20	19	42,2
21-30	16	35,6
Total	45	100,0

Referente a la rotación de las áreas de pastoreo y descanso el 53,3 % de las personas encuestadas contestaron que si lo hacen mientras que 46,7 % no realizan rotaciones ni descanso en las áreas de pasto tal como se muestra en la tabla 23.

**TABLA 23:** Rotación de áreas dedicadas al pastoreo en la microcuenca “El Sapanal”

Rotación de áreas de cultivo	Frecuencia	Porcentaje (%)
Si	24	53,3
No	21	46,7
Total	45	100,0

La tabla 24 muestra los años de utilización del suelo para la ganadería dentro del sector de la microcuenca, mostrando así que 57,8 % de los ganaderos realizan esta práctica por más de 15 años mientras que 42,2 % de estos las han utilizado en un promedio de 11 a 15 años.

**TABLA 24:** Tiempo dedicado a la ganadería en la microcuenca “El Sapanal”

Tiempo dedicado a la ganadería	Frecuencia	Porcentaje (%)
11-15	19	42,2
Más de 15	26	57,8
Total	45	100,0

De acuerdo a la tabla 25 los pobladores del sector ganadero en la microcuenca “El Sapanal” utilizan varias técnicas de manejo del pasto siendo la aplicación de herbicidas con un 62,2 % la práctica mayormente utilizada seguido por la siembra de plantas forrajeras con un 24,5 %, quema de vegetación con un 11,1 % y control manual de malezas con un 2,2 %.

**TABLA 25:** Técnicas utilizadas para el manejo de pasto en la microcuenca “El Sapanal”

<b>Técnicas utilizadas para el manejo de pasto</b>	<b>Frecuencia</b>	<b>Porcentaje (%)</b>
Aplicación de herbicidas	28	62,2
Siembra de plantas forrajeras	11	24,5
Quema de vegetación	5	11,1
Control manual de malezas	1	2,2
Total	45	100,0

La tabla 26 muestra información referente a las fuentes de agua para el consumo del ganado obteniéndose que el 75,6 % proviene de río o vertiente mientras que 24,4 % de ellos utilizan el agua de charcos artificiales.

**TABLA 26:** Agua para el consumo del ganado en la microcuenca “El Sapanal”

<b>Agua para el consumo del ganado</b>	<b>Frecuencia</b>	<b>Porcentaje (%)</b>
Río/vertiente	34	75,6
Charcos artificiales	11	24,4
Total	45	100,0

#### **5.2.6.4 Uso y calidad del agua**

En cuanto a la fuente de agua para uso doméstico el 100 % de los pobladores encuestados manifestaron que la obtiene de río/vertiente ya que no cuentan con agua de red tal como lo muestra la tabla 27, la calidad de la misma de acuerdo a la percepción de los pobladores, el 80 % menciona que es de calidad buena mientras que

para el 20 % es óptima además afirman que, solo realizan el tratamiento de hervido previo al consumo debido a su calidad remarcan que hasta el momento no han presentado ningún tipo de enfermedad.

**Tabla 27.** Fuente del agua para consumo doméstico de la microcuenca “El Sapanal”

<b>Fuente del agua para el uso doméstico</b>	<b>Frecuencia</b>	<b>Porcentaje (%)</b>
Rio/vertiente	95	100,0

### **5.3. Lineamientos generales para el manejo de los recursos naturales de acuerdo al uso de suelo y calidad de agua**

La figura 7 muestra el mapa de uso de suelo ideal de la microcuenca “El Sapanal” donde se estableció el ordenamiento en base a criterios y principios ambientales para cada una de las zonas, enfocadas en la conservación y protección de los recursos hídricos del lugar y, manejo adecuado de los recursos naturales contemplando a la población y las actividades que realizan dentro de la microcuenca en una menor proporción, mientras que la figura 8 toma en cuenta las actividades socioeconómicas dentro de la microcuenca en una mayor proporción. En ese sentido la zonificación territorial presentada, es producto de cuatro zonas de manejo, tal como se muestra en la tabla 28 y 29 para cada manejo de uso de suelo ideal y posible respectivamente.

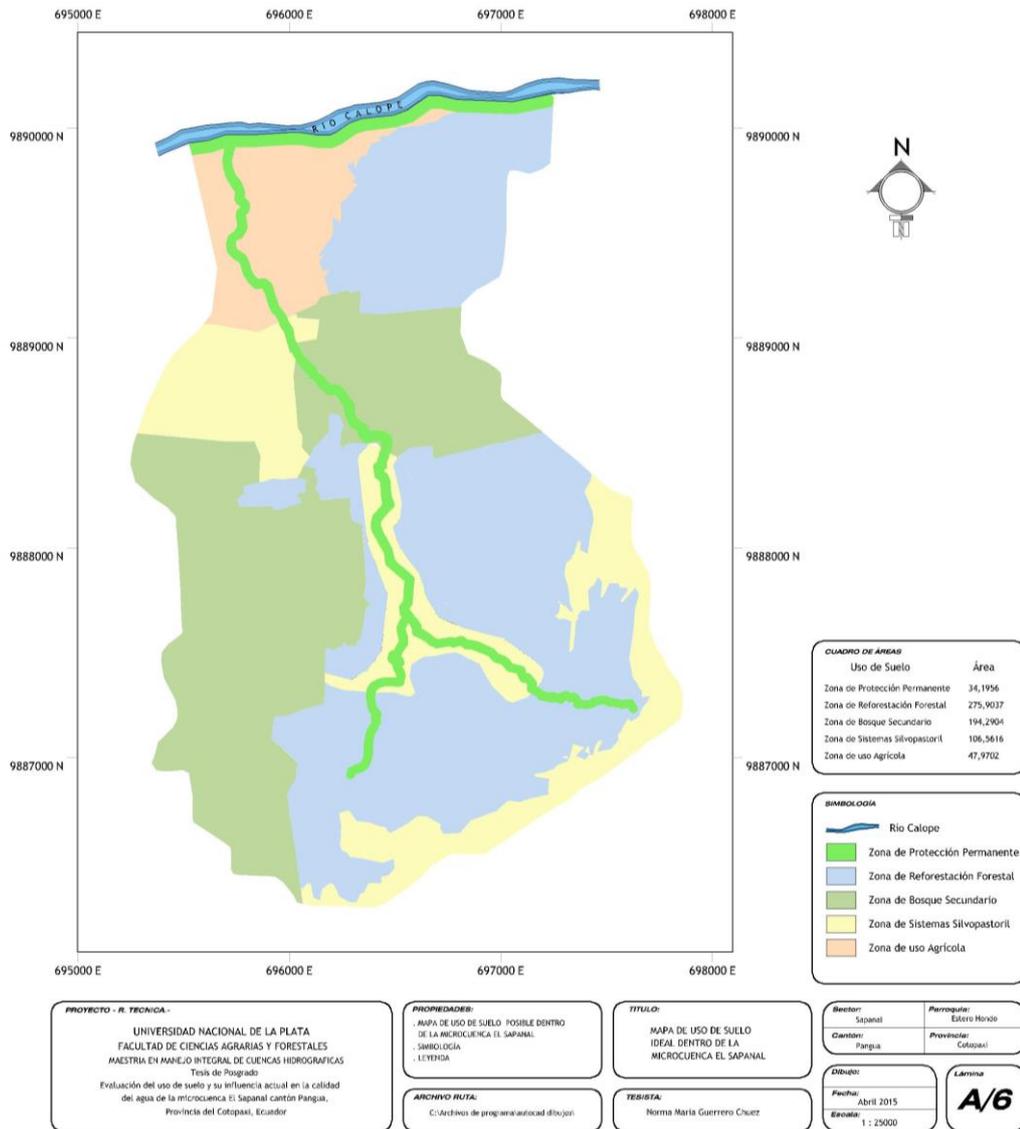


FIGURA 7: Mapa de uso de suelo ideal de la Microcuenca “El Sapanal”. Fuente: Guerrero, 2014.

TABLA 28. Zonificación y uso de suelo ideal de la microcuenca “El Sapanal”

Uso de suelo	Área
Zona de protección permanente	34,195 ha
Zona de Reforestación	275,903 ha
Zona de Bosque Secundario	194,290 ha
Zona de Sistemas Silvopastoriles	106,561 ha
Zona de Uso Agrícola	47,970 ha

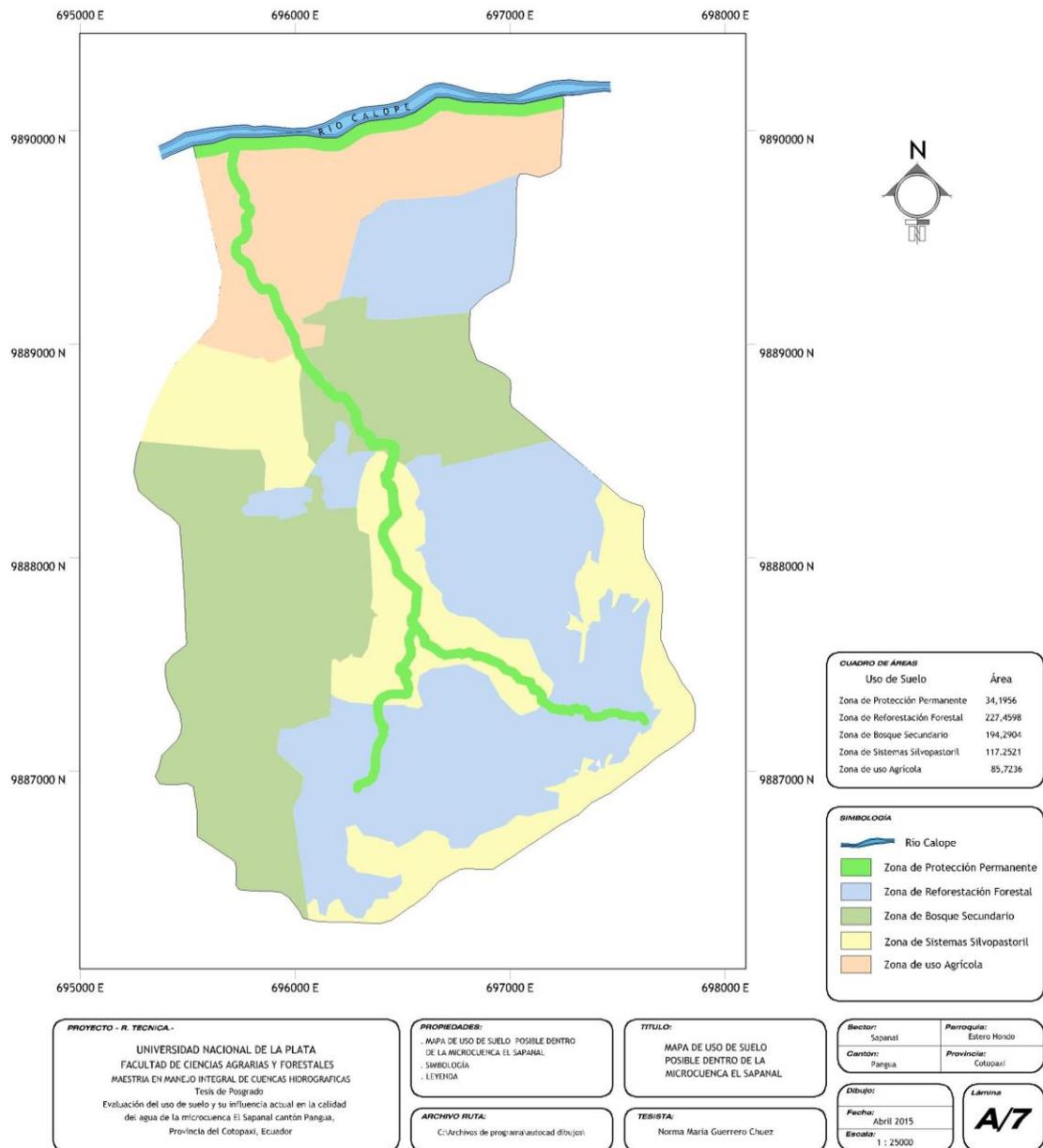
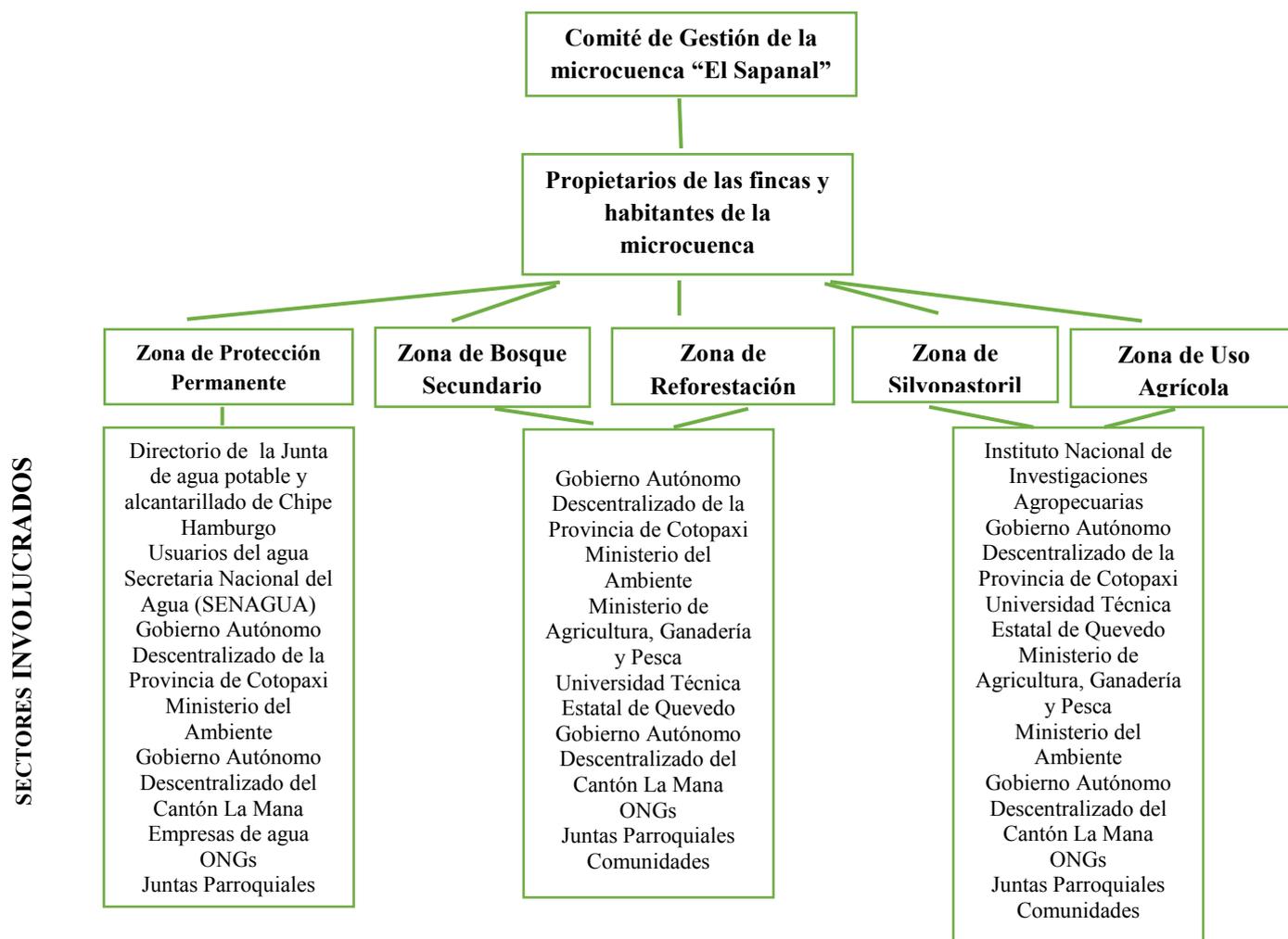


FIGURA 8: Mapa de uso de suelo posible de la microcuenca “El Sapanal”. Fuente: Guerrero, 2014.

Tabla 29. Zonificación y Uso de Suelo posible de la microcuenca “El Sapanal”

Uso de suelo	Área
Zona de protección permanente	34,195 ha
Zona de Reforestación Forestal	227,4598ha
Zona de Bosque Secundario	194,290 ha
Zona de Sistemas Silvopastoriles	117,252 ha
Zona de Uso Agrícola	85,723 ha

Para llevar a cabo las estrategias propuestas en cada zona de uso de suelo, desde una perspectiva social y ambiental se creara un Comité de Gestión conformado por todos los actores sociales inmersos en la gestión ambiental del lugar, administrando y controlando responsablemente los recursos naturales mediante la gestión coordinada del agua, y la cubierta vegetal sin comprometer la sustentabilidad de los sistemas ambientales que posee la microcuenca “El Sapanal”. El mismo que estará conformado de la siguiente forma:



### 5.3.1. Mision de la Organización

Formar actores sociales responsables con tendencia a desarrollar una gran sensibilidad, conocimiento, valor e interés por conservar el entorno natural de la microcuenca “El Sapanal” impulsando el desarrollo socio-económico de la población demostrando una actitud emprendedora y transformadora a través del desarrollo de alternativas amigables con el ambiente mejorando su calidad de vida.

### **5.3.2. Visión**

La microcuenca del estero “El Sapanal” será un modelo de desarrollo económico sostenible y reconocido en el país, gracias al esfuerzo y participación de los pobladores, y del apoyo de las diferentes instituciones públicas, privadas y ONG’s interesados en la recuperación y conservación de la microcuenca para contribuir el bienestar socio-económico de la población y el mejoramiento de sus servicios ambientales.

### **5.3.3. Objetivos Generales**

- ✓ Controlar el uso de los recursos naturales y las actividades socio-productivas enfocadas en el ordenamiento y manejo del territorio a través de acciones que permitan solucionar la actual problemática ambiental y dinamizar el aprovechamiento sostenible de los recursos naturales en la microcuenca.
- ✓ Lograr una efectiva coordinación entre las instituciones participantes y la comunidad que permita la gestión y manejo de los recursos naturales de la microcuenca.
- ✓ Promover la formación de líderes comprometidos para el manejo y conservación de los recursos hídricos.
- ✓ Protección y recuperación de los recursos hídricos en la microcuenca, que están siendo alterados por la ampliación de la frontera agrícola y ganadera.
- ✓ Fortalecer a sectores de producción agropecuaria y pecuaria con técnicas que permitan el aprovechamiento sostenible de los recursos y mejoramiento del nivel de ingresos económicos de las familias.
- ✓ Mejorar la capacidad de gestión de los presidentes y vocales de las juntas parroquiales, así como de líderes comunitarios, quienes han adquirido conocimientos y destrezas que les posibilitarán cumplir con sus responsabilidades, formular y negociar sus demandas en la perspectiva del desarrollo de la comunidad.

- ✓ Promover la participación continua de la ciudadanía en los diferentes procesos o gestiones socio-ambientales y productivas obteniendo beneficios y mejorando su calidad de vida.

En base a criterios sociales y ambientales se determinó las zonas y las actividades a realizar en la microcuenca “El Sapanal” las mismas que se describen a continuación:

#### **5.3.4 Zona de protección permanente**

Son áreas a lo largo de los ríos o de cualquier curso de agua permanente, que requieren protección absoluta considerando el nivel más alto de las aguas en época de creciente, en faja paralela a cada margen, con un ancho mínimo de 10 metros de acuerdo a la Norma para el Manejo de Bosques Húmedos en Ecuador. También se consideran zona de protección permanente, las áreas en las que se constate, mediante estudio previo, que son hábitat de poblaciones de fauna o flora, amenazadas de extinción y que resultan indispensables para su supervivencia. Actualmente esta zona dentro de la microcuenca abarca un área total de 33,071 ha por lo que se propone su ampliación a un área de 34,195 ha en el que se considere el margen de protección del recurso agua.

##### **5.3.4.1 Actividades del Comité de Gestión**

- ✓ Ejecutar talleres para informar y capacitar a los habitantes de la microcuenca, sobre los beneficios, e importancia de la conservación del recurso hídrico, informando a los comuneros acerca de las leyes del Estado, Ordenanzas municipales y las disposiciones fundamentales que promulgan acerca de la conservación del recurso hídrico.
- ✓ Colocar franjas de protección de acuerdo a la Norma para el Manejo de Bosques Húmedos en Ecuador Art. 7 literal b) que establece un ancho mínimo de 10 metros para la zona de protección permanente para la cual se utilizarán especies forestales como: *Pouteria caimito* (Cauje), *Guarea* sp (Manzano Colorado), y *Grias* sp (Membrillo), lo que permitirá crear un área de amortiguamiento atrapando los

sedimentos y reduciendo la escorrentía superficial. Además de proteger de los contaminantes que se desprenden de los suelos descubiertos o suelos de cultivos que luego son llevados al arroyo.

- ✓ Para la aplicación de agroquímicos, se establecerá una franja de seguridad de 60 metros sin barreras vivas y 30 metros con barreras vivas respecto a áreas sensitivas tales como ríos, esteros y cuerpos hídricos principales, que no estén destinados para el consumo humano en cuanto a otros cuerpos hídricos, tales como canales internos de los cultivos, se establece la siembra de plantas nativas para la protección de estas fuentes de agua. Las barreras vivas deberán ser implementadas con especies nativas aprobadas por la Autoridad Ambiental Nacional, las mismas que constituirán barreras naturales respecto a acuíferos principales, las que deberán tener 30 metros de ancho y una altura mayor a la del cultivo. Así también, se deberán respetar las zonas de protección permanente del cuerpo de agua para de esta forma se mantener el recurso y mejorar la calidad del agua.
- ✓ Capacitación a los comuneros acerca del uso de alternativas de pesticidas de origen orgánico, y control biológico de plagas.
- ✓ Capacitar a las comunidades involucradas en el manejo sostenible de las cuencas hidrográficas.
- ✓ Implementar un programa de monitoreo de calidad del agua que involucre a los jóvenes y niños del sector, para generar capacidad de la comunidad en regular y proteger su recurso hídrico.
- ✓ Implementar un programa de educación ambiental.
- ✓ Restaurar los caminos rurales dentro la microcuenca con el fin de estabilizar las áreas de riesgo en las quebradas y así evitar deslizamientos.

- ✓ Reducir y controlar las principales fuentes de contaminación del recurso hídrico, particularmente las aguas residuales domésticas y los desechos sólidos que actualmente contribuyen a la disminución de la calidad del agua.

### 5.3.4.2. Cronograma de la zona de Protección Permanente

La tabla 30 muestra el cronograma de actividades propuestas en la zona de protección.

**TABLA 30:** Cronograma de la zona de protección permanente

Actividades	Semestres									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ejecución de talleres para informar y capacitar a los habitantes de la microcuenca acerca de la conservación del recurso hídrico.	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Colocar franjas de protección con un ancho mínimo de 10 metros para la zona de protección permanente de acuerdo a la Normativa Forestal del Ecuador.	x	x	x	x						
Para la aplicación de agroquímicos se establecerá una franja de seguridad de 60 metros sin barreras vivas y 30 metros con barreras vivas las mismas que deberán una altura mayor a la del cultivo para lo cual utilizara especies nativas aprobadas por la Autoridad Ambiental Nacional.	x	x	x	x						
Capacitar a los comuneros acerca del uso de alternativas de pesticidas de origen orgánico, y control biológico de plagas.	x	x	x	x						
Capacitar a las comunidades involucradas en el manejo sostenible de las cuencas hidrográficas.	x	x	x	x						
Implementar un programa de monitoreo de calidad del agua que involucre a los jóvenes y niños del sector, para generar capacidad de la comunidad en regular y proteger su recurso hídrico.	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Implementar un programa de educación ambiental	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Restaurar, y mantener los caminos rurales dentro la microcuenca con el fin de estabilizar las áreas de riesgo en las quebradas y así evitar deslizamientos.	x	x	x	x	x					
Reducir y controlar las principales fuentes de contaminación del recurso hídrico, particularmente las aguas residuales domésticas y	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x

los desechos sólidos.										
-----------------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

### 5.3.5 Zona de reforestación

Son tierras frágiles debido a las fuertes pendientes o poca fertilidad de los suelos las cuales han sido intervenidas con la implantación de la actividad agropecuaria y ganadera, provocando la alteración de los ecosistemas. La cobertura vegetal en estas tierras son de gran valor ecológico generalmente cumplen un papel fundamental de regulación ambiental, protegiendo suelos y recursos hídricos. Se encuentran ubicadas en la parte baja, media y alta de la microcuenca cuyas características permiten la reforestación, estas zonas fueron determinadas en áreas con pendientes mayores a 20 %. Actualmente esta zona no se encuentra dentro del uso actual de la microcuenca por lo que se propone se establezca un área de 227,459 ha en el que se considere la reforestación como una alternativa dentro del uso de suelo suplantando de esta forma áreas que antes eran utilizadas para la agricultura y ganadería.

#### 5.3.5.1 Actividades del Comité de Gestión

- ✓ Reforestar 23 hectáreas por semestre a una distancia de 5 x 5 entre árbol dando un total de 400 árboles por hectárea los mismo que serán plantados en los sectores intervenidos por la agricultura y ganadería con especies forestales nativas de la zona que mejoren las características ambientales del lugar y mantengan su equilibrio ecológico para cual se utilizara de preferencia las acciones comunitarias que se encarguen del control de las especies, desde su siembra en los viveros, hasta su crecimiento en las áreas a reforestar. Las plantas recomendadas son: *Schizolobium parahyba* (pachaco), *Cordia alliodora sp* (laurel), *Guarea sp* (manzano colorado), *Grias sp* (membrillo), *Trema micrantha (L.) Blume* (Sanpán de paloma), y *Pouteria caimito* (cauje).
  
- ✓ Fortalecer la gestión de los recursos forestales en las comunidades a través de implementación de viveros forestales con especies nativas o especies maderables acordes con la zona.

- ✓ Capacitar y socializar a los miembros de la comunidad en técnicas de protección y conservación de los recursos naturales.
- ✓ Estimular e incorporar a las comunidades del sector en el manejo y establecimiento de plantaciones forestales con fines comerciales mediante la incorporación de incentivos económicos de carácter no reembolsable que entrega el Estado Ecuatoriano, a través de la subsecretaría de Producción Forestal (SPF) del Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca (MAGAP) los beneficios del PIF (Programa de incentivos forestales) son los siguientes:

Personas naturales y jurídicas: Reciben el 75% del incentivo para el establecimiento y el mantenimiento de las plantaciones durante los cuatro primeros años; del cuarto año en adelante los costos de mantenimiento corren por cuenta del beneficiario.

Asociaciones, cooperativas, comunas: Reciben el 100% del incentivo para el establecimiento y el mantenimiento de las plantaciones durante los cuatro primeros años en adelante los costos de mantenimiento corren por cuenta del beneficiario.

Las especies con incentivo a utilizar en la zona se muestran a continuación en la tabla 31:

**TABLA 31.** Especies forestales con incentivo económico. (MAGAP, 2014)

<b>Nombre Común</b>	<b>Nombre Científico</b>
Aguacate	<i>Persea americana</i>
Aliso	<i>Alnus acuminata</i>
Balsa	<i>Ochroma sp,</i>
Caucho	<i>Hevea brasiliensis</i>
Fernán Sánchez	<i>Triparis cumingiana</i>
Laurel	<i>Cordia alliodora</i>
Melina	<i>Gmelina arborea</i>
Neem	<i>Azadirachta indica</i>
Pachaco	<i>Schizolobium parahybum</i>

- ✓ En las áreas de reforestación de la zona baja de la microcuenca existen dos posibilidades: plantar las especies forestales solas, o bien asociadas con cultivos agrícolas, aprovechando de esta forma los espacios libres entre los árboles, lo cual implica un uso óptimo del suelo; tendrán una orientación hacia la protección y básicamente de producción.
- ✓ Crear un plan de ecoturismo principalmente en las zonas baja y media de la microcuenca enfocados al campo educativo, fomentando de esta manera el turismo ecológico poniendo como prioridad la conservación, donde exista una regulación de temas como: senderos ecológicos, capacidad de carga, manejo de desechos, y ubicación zonas de camping, ofreciendo alternativas de recreación a la comunidad y la posibilidad de mejorar sus ingresos económicos.
- ✓ Implementar programas de aprendizaje e investigación en los cuales se establecerán procesos y métodos a seguir para la conservación de los ecosistemas creando campañas de información, que inviten a profesores, alumnos, y a la comunidad en general, a formar parte de los proyectos. Los temas a tratar en educación ambiental deben enfocarse a: clasificación de desechos sólidos, reciclaje, reutilización y reducción del consumo de materiales no biodegradables, implantación de viveros, reforestación y bioindicadores de la calidad del agua.
- ✓ Promover la construcción de senderos ecológicos con el fin de mantener las condiciones naturales de la biodiversidad en la zona de la microcuenca “El Sapanal”.
- ✓ Instalar letreros de incentivo para la conservación de la biodiversidad.

### 5.3.5.2. Cronograma de la zona de Reforestación Forestal

La tabla 32 muestra el cronograma de actividades propuestas en la zona de reforestación forestal

**TABLA 32:** Cronograma de actividades en la zona de reforestación forestal

Actividades	Semestres									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Reforestar 23 hectáreas por semestre a una distancia de 5 x 5 entre árbol dando un total de 400 árboles por hectárea los mismo que serán plantados en los sectores intervenidos por la agricultura y ganadería con especies forestales nativas de la zona que mejoren las características ambientales del lugar.	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Fortalecer la gestión de los recursos forestales en las comunidades a través de implementación de viveros forestales con especies nativas o especies maderables acordes con la zona.	x	x	x	x	x	x				
Capacitar y socializar a los miembros de la comunidad en técnicas de protección y conservación de los recursos naturales.	x	x	x	x						
Estimular e incorporar a las comunidades del sector en el manejo y establecimiento de plantaciones forestales con fines comerciales mediante la incorporación de incentivos económicos de carácter no reembolsable que entrega el Estado Ecuatoriano, a través de la subsecretaría de Producción Forestal (SPF) del Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca (MAGAP).	x	x	x	x	x	x	x	x		
Crear un plan de ecoturismo principalmente en las zonas baja y media de la microcuenca enfocados al campo educativo.	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Implementar programas de aprendizaje e investigación que establezcan procesos y métodos para la conservación de los ecosistemas creando campañas de información, que inviten a profesores, alumnos, y a la comunidad en general, a formar parte de los proyectos. Los temas a tratar en educación ambiental deben enfocarse a: clasificación de desechos sólidos, reciclaje, reutilización y reducción del consumo de materiales no biodegradables, implantación de viveros y reforestación.	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Promover la construcción de senderos ecológicos con el fin de mantener las condiciones naturales de la biodiversidad en la zona de la microcuenca “El Sapanal”.	x	x	x	x	x	x				
Instalar letreros de incentivo para la conservación de la biodiversidad.		x	x							

### **5.3.6. Zona de bosque secundario**

Son áreas con algún uso especial restringido debido a sus características ya que prestan servicios ambientales como la protección de los suelos, recursos hídricos, hábitat de fauna y flora, y mantenimiento de la biodiversidad por lo cual deben ser sustraídas de toda intervención humana aisladas y amparadas legalmente para evitar los procesos de deforestación, tala, y ampliación de la frontera agrícola y ganadera. La zona de bosque secundario se encuentra actualmente establecida dentro del uso actual de suelo de la microcuenca con una superficie de 197,332 ha por lo que se propone en los lineamientos disminuir su superficie a 194, 290 ha, debido a que parte de esta fue utilizada dentro de la zona de protección permanente, y continuar conservando su vegetación en el lugar utilizado en el presente para este fin.

#### **5.3.6.1. Actividades del Comité de Gestión**

- ✓ Capacitar a los miembros de las comunidades en la importancia de conservar la cobertura vegetal nativa.
- ✓ Realizar talleres de sensibilización y concienciación sobre los efectos negativos de la deforestación y el avance de la frontera agrícola a fin de crear conciencia ambiental con tendencia a desarrollar una gran sensibilidad, conocimiento, valor e interés por conservar el entorno natural de la microcuenca del arroyo “El Sapanal”.
- ✓ Establecer áreas de protección y conservación de bosques naturales en zonas aledañas a nacimientos de agua y márgenes de corrientes que garanticen la calidad del agua.
- ✓ Implementar un vivero forestal que este manejado por los comuneros, donde se cultiven especies nativas.
- ✓ Diseño e implementación de planes de conservación y uso sostenible en sitios piloto, para la protección del bosque secundario.

- ✓ Levantar información que permita determinar las zonas con mayor biodiversidad.
- ✓ Realizar cursos y talleres gratuitos que sean auspiciados por el sector público y privado sobre la problemática del ambiente y acciones para minimizar, corregir y mitigar los impactos ambientales negativos.
- ✓ Llevar a cabo inventarios faunísticos y florísticos, particularmente en las áreas con ecosistemas y formaciones naturales sin protección.

### 5.3.6.2. Cronograma de la zona de bosque secundario

La tabla 33 muestra el cronograma de actividades propuestas en la zona de bosque secundario.

**TABLA 33:** Cronograma de actividades en la zona de bosque secundario

Actividades	Semestres									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Capacitar a los miembros de las comunidades en la importancia de conservar la cobertura vegetal nativa.	x	x								
Realizar talleres de sensibilización y concienciación sobre los efectos negativos de la deforestación y el avance de la frontera agrícola a fin de crear conciencia ambiental con tendencia a desarrollar una gran sensibilidad, conocimiento, valor e interés por conservar el entorno natural de la microcuenca del arroyo “El Sapanal”.	x	x								
Establecer áreas de protección y conservación de bosques naturales en zonas aledañas a nacimientos de agua y márgenes de corrientes.		x	x	x	x					
Implementar un vivero forestal que este manejado por los comuneros, donde se cultiven especies nativas.	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Diseño e implementación de planes de conservación y uso sostenible en sitios piloto, para la protección del bosque secundario.	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Levantar información que permita determinar las zonas con mayor biodiversidad.	x	x	x	x						
Realizar cursos y talleres gratuitos que sean auspiciados por el sector público y privado sobre la problemática del ambiente y acciones para minimizar, corregir y mitigar los impactos ambientales negativos.	x	x	x	x	x					
Llevar a cabo inventarios faunísticos y florísticos, particularmente en las áreas con ecosistemas y formaciones naturales sin protección.	x	x	x	x						

### **5.3.7 Zona de Sistemas Silvopastoriles**

Esta zona se distribuye hacia la parte alta y media de la microcuenca en donde las explotaciones pecuarias son posibles mediante la aplicación de prácticas de conservación de suelos integrando sistemas de árboles frutales y productores de forraje con el fin de diversificar la producción e incrementar la sostenibilidad de los suelos, sin exceder la capacidad de carga y aplicando rotación de praderas. Actualmente esta zona dentro de la microcuenca cuenta con un área total de 287,907 ha por lo que se propone su reducción a un área de 117,252 ha abarcando áreas que antes eran utilizadas para la zona de uso agrícola distribuyéndose de esta forma en la parte alta, media y baja de la microcuenca.

#### **5.3.7.1. Actividades del Comité de Gestión**

- ✓ Realizar capacitaciones junto con los gobiernos locales, las instituciones educativas y la población, de tal manera que se involucren en proyectos con la aplicación de métodos productivos más efectivos y menos perjudiciales para el ambiente.
  
- ✓ Las capacitaciones deben estar a cargo de ingenieros agrícolas o profesionales dedicados a la producción ganadera y deben abarcar temas como:
  - Salud Animal
  - Medicamentos para el ganado
  - Prevención de enfermedades
  - Programa agrícola y porcino
  - Producción de leche
  - Manejo de desechos pecuarios
  
- ✓ Incorporación de árboles y arbustos distribuidos a lo largo de las pasturas existentes. Para lo cual se recomiendan dos formas plantar árboles: en grupos a una distancia de 4 m por 4 m entre árboles, y entre cada uno de los grupos de árboles una distancia de 15 m, la otra forma recomendada es la siembra individual de árboles a una distancia de 10 m por 10 m entre ellos. A continuación la tabla 34 muestra las especies utilizadas para diversas técnicas de conservación de suelo:

**TABLA 34:** Especies forestales utilizadas para técnicas de conservación de suelo.

Nombre Común	Nombre Científico	Cercas vivas	Barreras vivas	Arboles dispersos	Forrajeras	Mejora de pastos	Apto para estabilizar y proteger riberas de ríos y lagunas
Churqui	<i>Acacia caven</i>	x	x	x	x		
Acacia	<i>A. Melanoxilon</i>	x	x	x	x		
Aliso	<i>Alnus acuminata</i>	x	x	x	x	x	x
Chilca	<i>Baccharis sp.</i>	x	x		x		
Quishuar	<i>Buddleia sp.</i>	x	x	x	x		
Pajuro	<i>Erythrina sp.</i>	x	x	x	x		
Algarrobo	<i>Prosopis chilensis</i>	x	x	x	x		
Sauce	<i>Salix chilensis</i>	x	x	x	x		
Retama	<i>Spartium junceum</i>	x	x		x		
Tipa	<i>Tipuana tipu</i>	x	x	x	x		
Nogal	<i>Juglans sp</i>	x		x			
Polylepis o Pantag	<i>Polylepis racemosa</i>	x	x	x			
Piquil	<i>Gynoxys sp</i>	x	x	x			

- ✓ Utilización de cercas vivas mediante la formación de cercos de una o más hileras con especies forestales cuyo objetivo es generar hábitats y refugio para vida silvestre. Para este tipo de técnica se recomienda plantar árboles en forma uniforme a una distancia de 1,5 m a 2,5 m entre árboles; para ello se debe seleccionar especies que tengan características específicas que ayuden a la formación de cercas.
- ✓ Utilización de barreras vivas conformadas por árboles y arbustos, con el fin ofrecer protección y prevención de la erosión por escurrimiento superficial y pérdida de suelos. Para este tipo de técnica se recomienda plantar árboles en franjas compuestas por dos hileras de árboles. Sembramos en cada hilera a una distancia de 3 metros entre árbol y árbol y a una distancia de 2 metros entre hilera e hilera, la otra franja igualmente conformada por dos hileras de árboles bajo las mismas condiciones a una distancia de 50 m.

Mediante esta técnica de conservación de suelo se puede combinar arbustos, o herbáceas entre los árboles de las barreras vivas a una distancia de 50 cm entre arbusto y arbusto los mismos que tienen un alto contenido de proteína para ser

utilizados como ramoneo o de corte y picado para los animales. Esta experiencia se convierte en una alternativa muy recomendada, ya que el monocultivo de pasturas al que se acostumbra en la actualidad, tiene grandes desventajas pues en época seca disminuye la producción y la calidad nutricional del forraje, que afectan directamente a la producción lechera. Las especies recomendadas para esta práctica son: *Sambucus nigra* (Tilo), *Gynoxys halii* (Piquil), *Valea stipularis* (Capulicillo o Sacha capulí), *Hesperomeles sp* (Pujín), *Alnus acuminata* (Aliso).

✓ Diseñar bebederos de bajo costo y prácticos, para facilitar su movilización a los potreros a los que el ganado se traslade, se aconseja construirlos con materiales de fácil adquisición, los bebederos pueden ser móviles o estacionarios. Los materiales para elaboración de un bebedero son los siguientes:

- La mitad de un tanque plástico de 200 litros
- Una estructura metálica de soporte para el tanque
- Un flotador para el cierre automático del agua
- Manguera de media para la conducción del agua al tanque
- Unión (plástica o metálica, para el flotador y la manguera)

Se instala el flotador al medio tanque, su objetivo es cerrar el paso del agua cuando el tanque está lleno evitando el desperdicio, para el ingreso del agua al tanque se debe acoplarla manguera de suministro de agua por medio de una unión esta podría ser plástica o metálica.



**FIGURA 9:** Modelo de bebedero para el uso de ganado en la microcuenca “El Sapanal” (MAE, 2013)

- ✓ Aplicación de biofertilizante líquido, en los cultivos de forraje cada 30 días y dirigida al follaje, la dosis puede ser de 2 litros de biofertilizante tamizados en 18 litros de agua, mezclados en una bomba de mochila.
- ✓ Implementar la combinación en los potreros de gramíneas con leguminosas ya que permiten retornar al suelo parte de los nutrientes extraídos por los forrajes, disminuyendo la cantidad de fertilizantes químicos para mantener y mejorar la calidad nutricional del pasto disminuyendo la aplicación de herbicidas pues esta combinación de forrajes reduce la aparición de malezas o malas hierbas en los potreros, una de las especies más utilizadas es la *Setaria sphacelata* (gramínea) como pasto bajo la copa de *Inga sp* (leguminosa) para el mejoramiento de las pasturas, obtención de un incremento del total de carbono secuestrado y aumento de la producción de carne y leche. Entre las gramíneas adaptadas en la zona se muestran en la tabla 35:

**TABLA 35:** Pastos adaptados a las condiciones de la región. (MAE, 2013)

<b><i>Trifolium repens</i> o trébol blanco</b>	Es una planta permanente que se adapta muy bien en climas fríos y cálidos. Tiene un alto valor nutritivo y es muy palatable. Se usa para pastoreo, henificación, como abono verde y control de la erosión.
<b><i>Dactylis glomerata</i> o pasto ovilla</b>	Es una planta perenne de clima templado y húmedo. Se propaga por semillas. Tiene rizomas cortos. Se adapta a diversos suelos y lugares sombreados. Tiene una alta producción forrajera para pastoreo, henificación y ensilaje.
<b><i>Plantago lanceolata</i> o llantén forrajero</b>	Es una planta perenne medicinal que se desarrolla muy bien en zonas frías y templadas del Ecuador, altamente palatable, excelente para el pastoreo, reduce la incidencia de timpanismo o torzón y enfermedades del rumen.

- ✓ Usar semillas de buena calidad. Se recomienda cortar las dos primeras cosechas y luego los potreros pueden ser pastoreados, esta actividad se la realiza con la finalidad de fortalecer las raíces de las plantas.

- ✓ Determinar la cantidad de pasto disponible, para conocer la carga animal que soporta el potrero y de esta forma evitar el sobre pastoreo. Se recomienda hacer cortes de igualación cada 6 meses utilizando una moto guadaña, para evitar la proliferación de malezas y ayudar a un rebrote uniforme, fuerte y de esta forma mantener el pasto deseado.
- ✓ Realizar rotación de potreros con el objetivo de disponer de una cantidad suficiente de lotes, se recomienda dividir los potreros en el mayor número, de tal manera que el tiempo de descanso entre pastoreos sea suficiente para que el pasto se pueda recuperarse, y se encuentre en el estado vegetativo ideal o sea antes que aparezcan las espigas de floración. El tiempo de ocupación ideal de cada potrero es de 12 a 24 horas.
- ✓ Mejorar la disposición de las excretas de ganado mediante la construcción de composteras.

### 5.3.7.2. Cronograma de la zona silvopastoril

La tabla 36 muestra el cronograma de actividades propuestas en la zona de silvopastoril.

**TABLA 36:** Cronograma de actividades en la zona de la zona silvopastoril

Actividades	Semestres									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Realizar capacitaciones junto con los gobiernos locales, las instituciones educativas y la población, de tal manera que se involucren en proyectos con la aplicación de métodos productivos más efectivos y menos perjudiciales para el ambiente.	x	x	x	x						
Incorporar árboles y arbustos distribuidos a los largo de las pasturas existentes. Para lo cual se recomiendan dos formas plantar árboles: en <b>grupos</b> a una distancia de 4m por 4 m entre árboles, y entre cada uno de los grupos de árboles una distancia de 15 m, la otra forma recomendada es la siembra <b>individual de árboles</b> a una distancia de 10m por 10m entre ellos.		x	x	x						
Utilización de cercas vivas mediante la formación de cercos de una o más hileras con especies forestales cuyo objetivo es generar hábitats y refugio para vida silvestre. Para este tipo de técnica se recomienda plantar árboles		x	x	x	x					

en forma uniforme a una distancia de 1,5m a 2,5m entre árboles; para ello se debe seleccionar especies que tengan características específicas que ayuden a la formación de cercas.											
Utilización de barreras vivas conformadas por árboles y arbustos, con el fin ofrecer protección y prevención de la erosión por escurrimiento superficial y pérdida de suelos. Para este tipo de técnica se recomienda plantar árboles en franjas compuestas por dos hileras de árboles. Sembramos en cada hilera a una distancia de 3 metros entre árbol y árbol y a una distancia de 2 metros entre hilera e hilera, la otra franja igualmente conformada por dos hileras de árboles bajo las mismas condiciones a una distancia de 50m.		X	X	X	X	X	X	X			
Diseñar bebederos de bajo costo y prácticos, para facilitar su movilización a los potreros a los que el ganado se traslade, se aconseja construirlos con materiales de fácil adquisición, los bebederos pueden ser móviles o estacionarios.		X	X	X	X						
Aplicación de biol en los cultivos de forraje cada 30 días y dirigida al follaje, la dosis puede ser de 2 litros de biol tamizados en 18 litros de agua, mezclados en una bomba de mochila.	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Implementar la combinación en los potreros de gramíneas con leguminosas ya que permiten retornar al suelo parte de los nutrientes extraídos por los forrajes, disminuyendo la cantidad de fertilizantes químicos para mantener y mejorar la calidad nutricional del pasto disminuyendo la aplicación de herbicidas.		X	X	X	X	X					
Usar semillas de buena calidad. Se recomienda cortar las dos primeras cosechas y luego los potreros pueden ser pastoreados, esta actividad se la realiza con la finalidad de fortalecer las raíces de las plantas.		X	X	X	X	X					
Determinar la cantidad de pasto disponible, para conocer la carga animal que soporta el potrero y de esta forma evitar el sobre pastoreo.	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Realizar rotación de potreros con el objetivo de disponer de una cantidad suficiente de lotes, se recomienda dividir los potreros en el mayor número, de tal manera que el tiempo de descanso entre pastoreos sea suficiente para que el pasto se pueda recuperarse, y se encuentre en el estado vegetativo ideal o sea antes que aparezcan las espigas de floración. El tiempo de ocupación ideal de cada potrero es de 12 a 24 horas.	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Mejorar la disposición de las excretas de ganado mediante la construcción de composteras.	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

### **5.3.8 Zona de uso de suelo agrícola**

Son áreas que por las condiciones biofísicas y socioeconómicas como: clima, pendiente, suelo, disponibilidad de mercados, accesibilidad vial, infraestructura permiten el desarrollo de múltiples actividades como ganadería, agricultura y actividad forestal. Dadas las condiciones de los suelos y medio natural de la microcuenca, existen algunos sectores donde es posible el desarrollo de procesos agropecuarios mediante la incorporación de sistemas agrícolas tradicionales (cacao + árboles maderables + frutales) además de otros cultivos como el maíz, y yuca. Actualmente esta zona ocupa un área de 177,561 ha por lo que se propone reducir el área a 85,723 ha manteniendo su ubicación dentro la zona pero con la utilización de buenas prácticas agrícolas.

#### **5.3.8.1. Actividades del Comité de Gestión**

- ✓ Capacitación en técnicas de agricultura sostenible, conservación de suelos y de aguas.
- ✓ Capacitación en manejo integrado de plagas y de cultivo.
- ✓ Capacitar a los finqueros y a los pequeños productores acerca de técnicas adecuadas de siembra, producción y cosecha de cacao y otros productos como frutales.
- ✓ Diseño de un circuito turístico comunitario enfocado al fortalecimiento de la producción agro ecológica en el recinto “La Envidia” perteneciente a la microcuenca “El Sapanal”.
- ✓ Fomentar alternativas viables de uso y manejo de suelo, que sean concordantes con la realidad social, económica y ambiental de la zona de la microcuenca “El Sapanal” mediante el establecimiento de parcelas agroforestales, para su establecimiento se seleccionaran diferentes especies maderables dando prioridad a las especies nativas.

- ✓ Mejorar las condiciones físicas y riqueza del suelo mediante la incorporación de material orgánico y fertilizante natural que permita obtener mejores rendimientos de las cosechas.
- ✓ Implementar prácticas agronómicas para mejorar los sistemas productivos en suelos agrícolas con erosión fuerte.
- ✓ Establecimiento de asociaciones de cultivos anuales y perennes durante los primeros estadios ejemplo: *manihot esculenta* (yuca) + arboles; *Pasiflora edulis* (maracuyá) + arboles; *Passiflora quadrangularis* (badea) + arboles.
- ✓ Fomentar el establecimiento de cultivos permanentes asociados con árboles para sombra como: *Theobroma cacao* (cacao), *Coffea* (café), cítricos; *Citrus sinensis* (naranja), *Citrus reticulata* (mandarina), *Nephelium lappaceum* (achotillo), frutales; *Psidium guajava* (guaba), *Quararibea cordata* (zapote), *Mangifera indica* (mango).
- ✓ Establecimiento de cultivos de bajo requerimiento de agroquímicos y laboreo de suelos como *persea americana* (aguacate) al mismo tiempo se estimula a comunidades del sector mediante incentivos económicos de carácter no reembolsable que entrega el Estado Ecuatoriano, a través de la subsecretaría de Producción Forestal (SPF) del Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca (MAGAP).
- ✓ Realizar rotaciones de cultivo mediante la combinación de gramíneas con leguminosas maíz durante el primer semestre del año y *Glycine max* (soya) en el segundo semestre debido a que estos permiten conservar la estructura y fertilidad del suelo. Se recomienda realizar un programa de rotación de cultivos para el maíz en el caso de que se realice debido a que esto reduce la incidencia de enfermedades y plagas, y contribuye a una sostenibilidad de la producción en el tiempo.

### 5.3.8.2 Cronograma de la zona de uso agrícola

La tabla 37 muestra el cronograma de actividades propuestas en la zona de uso agrícola.

**TABLA 37:** Cronograma de actividades en la zona de uso agrícola

Actividades	Semestres									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Capacitación en técnicas de agricultura sostenible, conservación de suelos y de aguas.	x	x	x	x	x	x				
Capacitación en manejo integrado de plagas y de cultivo.	x	x	x	x	x					
Capacitar a los finqueros y a los pequeños productores acerca de técnicas adecuadas de siembra, producción y cosecha de cacao y otros productos como frutales.		x	x	x	x	x				
Diseño de un circuito turístico comunitario enfocado al fortalecimiento de la producción agro ecológica en el recinto “La Envidia” perteneciente a la microcuenca “El Sapanal”.	x	x	x	x	x					
Fomentar alternativas viables de uso y manejo de suelo, que sean concordantes con la realidad social, económica y ambiental de la zona de la microcuenca “El Sapanal” mediante el establecimiento de parcelas agroforestales, para su establecimiento se seleccionaran diferentes especies maderables dando prioridad a las especies nativas.		x	x	x	x					
Mejorar las condiciones físicas y riqueza del suelo mediante la incorporación de material orgánico y fertilizante natural que permita obtener mejores rendimientos de las cosechas.	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Implementar prácticas agronómicas para mejorar los sistemas productivos en suelos agrícolas con erosión fuerte.	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Establecimiento de asociaciones de cultivos anuales y perennes durante los primeros estadios ejemplo: manihot esculenta (yuca) + arboles; <i>Pasiflora edulis</i> (maracuyá) + arboles; <i>Passiflora quadrangularis</i> (badea) + arboles.	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Fomentar el establecimiento de cultivos permanentes asociados con árboles para sombra como: <i>Theobroma cacao</i> (cacao), <i>Coffea</i> (café), cítricos; <i>Citrus sinensis</i> (naranja), <i>Citrus reticulata</i> (mandarina), <i>Nephelium lappaceum</i> (achotillo), frutales; <i>Psidium guajava</i> (guaba), <i>Quararibea cordata</i> (zapote), <i>Mangifera indica</i>	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x

(mango).										
Establecimiento de cultivos de bajo requerimiento de agroquímicos y laboreo de suelos como <i>persea americana</i> (aguacate) al mismo tiempo se estimula a las comunidades del sector mediante incentivos económicos de carácter no reembolsable que entrega el Estado Ecuatoriano, a través de la subsecretaría de Producción Forestal (SPF) del Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca (MAGAP).	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Realizar rotaciones de cultivo mediante la combinación de gramíneas con leguminosas maíz durante el primer semestre del año y <i>Glycine max</i> (soya) en el segundo semestre debido a que estos permiten conservar la estructura y fertilidad del suelo. Se recomienda realizar un programa de rotación de cultivos para el maíz en el caso de que se realice debido a que esto reduce la incidencia de enfermedades y plagas, y contribuye a una sostenibilidad de la producción en el tiempo.	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x

## **CAPÍTULO 6**

### **CONCLUSIONES**

En base a las tareas realizadas a lo largo del trabajo no se encontraron evidencias para rechazar la hipótesis, consecuentemente se concluye que la contaminación del agua y las alteraciones en la dinámica de los macroinvertebrados acuáticos de la cuenca “El Sapanal” están asociadas en forma directa a los cambios en el ecosistema natural cuando el uso del suelo es transformado por el hombre.

La verificación de la hipótesis y los resultados alcanzados permitieron dar cumplimiento a los objetivos específicos planteados. En ese contexto, se puede mencionar que la caracterización biofísica del suelo, reconoció los problemas actuales, causados por el inadecuado ordenamiento de las actividades productivas y manejo de sus recursos naturales. Se comprobó la existencia de superficies en la microcuenca, que están siendo utilizadas para actividades agrícolas y ganaderas incompatibles a su capacidad de uso, estas fueron identificadas por medio de la obtención de mapas de: pendiente, elevación, hídrico y uso actual de suelo.

El uso de macroinvertebrados para el establecimiento de los efectos causados por los distintos usos de suelo sobre la calidad del agua, indicó que, la cantidad de individuos y familias, tuvo variación en cada una de las zonas de colecta, siendo más abundantes y diversos en la zona de bosque secundario. Cabe indicar que la modificación en el sistema ya sea por causas humanas o ambientales, repercute en las especies que se encuentran en un punto y momento dado. Esto genera un proceso de adaptación a dichos cambios, lo que genera la desaparición de ciertos grupos por su intolerancia y el aumento de otros.

La calidad del agua, estimada mediante el uso de macroinvertebrados acuáticos, tuvo alteraciones negativas importantes debido al uso de suelo, factor principal que influye en la vulnerabilidad del recurso. La aplicación del Índice BMWP-Cr, proporcionó información rápida sobre el estado del ecosistema acuático y los factores que lo perturban; por su parte este mostró, que en los sitios de muestreo ubicados en el uso de suelo bosque poseen aguas de calidad excelente, mientras que el uso de suelo agrícola y pastizal presentaron aguas de calidad regular, eutrofizadas, contaminación moderada. Esto se atribuye posiblemente a la

disminución de la franja ribereña en la microcuenca y al incremento del área agrícola o de pastura, con el consecuente acceso de los animales al cauce, lo que aumenta el aporte de materia contaminante.

Por otra parte, la caracterización socio-económica identificó, los vacíos existentes con relación a la planificación del territorio, uso, manejo y conservación de los recursos naturales, mostrando a la ganadería, como principal actividad económica en el lugar, lo que ha provocado la disminución de la vegetación natural, especialmente en zonas de cabecera, incrementando los procesos erosivos, sedimentación y contaminación del cuerpo de agua.

Este trabajo demuestra que la cuenca “El Sapanal” presenta degradación y deterioro de sus recursos naturales, esta situación no es crítica aún, por lo tanto, es posible desarrollar acciones de conservación, protección y de recuperación, para controlar y mitigar los efectos mediante la ejecución de acciones a corto, mediano y largo plazo. En este sentido se formularon los lineamientos de manejo, basados en un ordenamiento territorial que respeta los principios de la sustentabilidad. Para ello se propone crear un Comité de Gestión, que será el encargado de establecer las estrategias o mecanismos de coordinación con instituciones públicas y privadas, y brindar apoyo técnico encaminado a buscar alternativas prácticas para optimizar los procesos productivos, mediante el manejo de plantaciones, sistemas agroforestales y silvopastoriles y cambios en las prácticas de cultivo de modo que los nuevos modelos productivos, incluyan la conservación de la biodiversidad, y la protección del recurso hídrico, como base de alcanzar la mejora en la calidad de vida de los habitantes en la microcuenca.

## AGRADECIMIENTOS

A Dios, por nunca abandonarme en los momentos más difíciles y haberme permitido llegar al final de la carrera. Al Gobierno Nacional de la República del Ecuador, por el financiamiento de mis estudios, a través del programa de Becas de posgrado “Convocatoria abierta 2012 – Segunda Fase” de la Secretaría Nacional de Educación Superior Ciencia y Tecnología del Ecuador (SENESCYT), gracias por brindarme la oportunidad de crecer profesionalmente, y hacer realidad los sueños de jóvenes ecuatorianos que como yo deseamos un país mejor. A la Universidad Nacional de La Plata, en especial a la Maestría en Manejo Integral de Cuencas Hidrográficas por la calidad de conocimientos impartidos a través de sus catedráticos.

A mi esposo, Otto López Chiang, quien a pesar de la distancia demostró ese amor que me ha llenado y acompañado en todo momento, por su entrega, voluntad, y constante apoyo en el logro de este éxito, que también es de él, gracias amor. Te Amo. A mi familia, gracias por su apoyo, confianza, por haberme inculcado los valores que guían mi vida, y brindarme su amor incondicional.

Quiero expresar también mi más sincero agradecimiento a mi Director Dr. Gerardo Denegrí, que me ha acompañado durante este largo camino, por su importante aporte y participación activa en el desarrollo de esta tesis. A la Dra. Fernanda Gaspari, Directora de la Maestría por su apoyo y orientación durante mi tiempo de estudio. A mi Comité Evaluador Dra. Inés Eugenia García, Dra. Lucrecia Brutti, y Dr. Mario Saparrat, por su asesoramiento, conocimiento y experiencia.

A la familia San Román Percie, por haberme apoyado en un momento muy importante de mi vida, en especial a mi querida Cris por hacerme sentir como en casa, por ese cariño que siempre me brindas. A mi querida Marjorie Espinoza, amiga y compañera de cuarto, con la que compartí tantos momentos inolvidables de amistad que llevaré siempre en mi corazón. A mis amigos Mariela Díaz, Guillermo Rosero, Ronny Yong, y Antonio Moran por brindarme su amistad, tiempo y apoyo valiosos para el éxito de esta investigación.

## CAPÍTULO 7

### BIBLIOGRAFÍA

- Abarca Morales, H. (2007). El uso de macroinvertebrados como bioindicadores de la calidad del Agua. *Revista Biocenosis*, 20(95-104), 10. Recuperado de <http://201.196.149.98/revistas/index.php/biocenosis/article/view/1304>
- Alba-Tercedor, J. (1996). Macroinvertebrados acuáticos y calidad de las aguas de los ríos. *IV Simposio del agua en Andalucía (SIAGA) Almería* (Vol. II, pp. 203–213). Recuperado de <http://ocw.atiica.um.es/ciencias/ecologia/lectura-obligatoria-1/pubalbaj1996p203.pdf>
- Alonso, A. (2006). Valoración del efecto de la degradación ambiental sobre los macroinvertebrados bentónicos en la cabecera del río Henares. *Revista Científica de Ecología y Medio Ambiente*. Recuperado de <http://www.redalyc.org/pdf/540/54015213.pdf>
- Arce, O., Herbas, R., Rivero, F., & Gonzales, A. (2006). *Indicadores biológicos de calidad del agua*. Recuperado de [http://www.pnuma.org/agua-miaac/Curso\\_Regional\\_MIAAC/Conferencias/Dia\\_5\\_\(14-agosto-2010\)/MIAAC\\_PNUMA\\_PAN\\_AGO\\_10\\_MAX/BIBLIOGRAFIA/indicadoresBiologicosCalidadAgua.pdf](http://www.pnuma.org/agua-miaac/Curso_Regional_MIAAC/Conferencias/Dia_5_(14-agosto-2010)/MIAAC_PNUMA_PAN_AGO_10_MAX/BIBLIOGRAFIA/indicadoresBiologicosCalidadAgua.pdf)
- Autodesk. 2014. AutoCAD Map 3D 2014
- Aquilla Cisneros, R. C. (2005). *Uso del suelo y calidad del agua en quebradas de fincas con sistemas silvopastoriles en la subcuenca del Río Jabonal , Costa Rica*. Catie Centro Agronomico Tropical de Investigacion y Enseñanza. Recuperado de [http://repositorio.bibliotecaorton.catie.ac.cr:8080/bitstream/handle/11554/5628/Uso\\_d\\_el\\_suelo\\_y\\_calidad\\_del\\_agua\\_en\\_quebradas.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.bibliotecaorton.catie.ac.cr:8080/bitstream/handle/11554/5628/Uso_d_el_suelo_y_calidad_del_agua_en_quebradas.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

- Auquilla, R. C., & Jiménez, F. (2005). Influencia del uso del suelo en la calidad del agua en la subcuenca del río Jabonal. *Recursos Naturales Y Ambiente*, (48), 81–92. Recuperado de [http://repositorio.bibliotecaorton.catie.ac.cr:8080/bitstream/handle/11554/6408/Influencia\\_de\\_uso\\_del\\_suelo.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.bibliotecaorton.catie.ac.cr:8080/bitstream/handle/11554/6408/Influencia_de_uso_del_suelo.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Bajaña Zajia, L. S. (2010). *Influencia del proceso de colonización en la capacidad de retención y abastecimiento de agua en la microcuenca “El Sapanal”*. Cantón Pangua, provincia de Cotopaxi. Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Quevedo, Ecuador
- Cárdenas, A., Reyes, B., López, M., Woo, A., Ramírez, E., & Ibrahim, M. (2007). Biodiversidad de macroinvertebrados acuáticos y la calidad del agua en la subcuenca de los ríos Bul Bul y Paiwas, Matiguás, Nicaragua. *Encuentro*, (77), 83–93. Recuperado de <http://www.uca.edu.ni/2/images/Revista-Encuentro/Revistas/e77/art-5.pdf>
- CEPAL. (2011). Diagnóstico de la estadísticas del agua en Ecuador. *Diagnostico de la informacion estadistica del agua*, 81. Recuperado de <http://aplicaciones.senagua.gob.ec/servicios/descargas/archivos/download/Diagnostico de las Estadísticas del Agua Producto IIIc 2012-2.pdf>
- Chará, J., Pedraza, G., Giraldo, L., & Hincapié, D. (2006). Efecto de los corredores ribereños sobre el estado de quebradas en la zona ganadera del río La Vieja, Colombia. *Agroforestería en las Américas*, (45), 72–78. Recuperado de [http://repositorio.bibliotecaorton.catie.ac.cr:8080/bitstream/handle/11554/7728/Efecto\\_de\\_los\\_corredores.pdf?sequence=2&isAllowed=y](http://repositorio.bibliotecaorton.catie.ac.cr:8080/bitstream/handle/11554/7728/Efecto_de_los_corredores.pdf?sequence=2&isAllowed=y)
- Chávez Espíritu, T. W. (2012). *Análisis hidrológico ante impactos del cambio climático y cambios de uso del suelo en la cuenca del río Compasagua, Nicaragua*. Recuperado de <http://www.sidalc.net/cgi-bin/wxis.exe/?IsisScript=orton.xis&B1=Buscar&formato=1&cantidad=50&expresion=ENVIRONMENTAL IMPACT>

- Cuevas, M., Garrido, A., Perez, J., & Iura, D. (2010). Procesos de cambio de uso de suelo y degradación de la vegetación natural. *Las Cuencas Hidrográficas de México. Diagnóstico y priorización*, 96–103. Recuperado de <http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones/libros/639/procesos.pdf>
- Domínguez, E., & Fernández, H.R. 2009. - Macroinvertebrados bentónicos sudamericanos: Sistemática y biología. Fundación Miguel Lillo, Tucumán, Argentina. p. 656
- Duarte Ramos, E. (2014). *Análisis faunístico de las larvas de insectos del orden Trichoptera en la cuenca del río Alvarado, Departamento del Tolima*. Recuperado de <http://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Figueroa, L., Ibañez, A., Arteaga, R., Arellano, L., & Vázquez, M. (2011). Cambio de uso de suelo en la cuenca de San Cristóbal de las Casas, México. *Agrociencia*, 45, 531–544. Recuperado de <http://www.scielo.org.mx/pdf/agro/v45n5/v45n5a1.pdf>
- González, S., Ramírez, Y., Meza, A., & Dias, L. . (2012). Diversidad de macroinvertebrados acuáticos y calidad de agua de quebradas abastecedoras del municipio de Manizales. *Boletín Científico Museo de Historia Natural*, 16(2), 135–148. Recuperado de <http://www.scielo.org.co/pdf/bccm/v16n2/v16n2a12.pdf>
- Guevara Mora, M. (2011). Insectos acuáticos y calidad del agua en la cuenca y embalse del río Peñas Blancas, Costa Rica. *Revista de Biología Tropical*, 59(2), 635–654. Recuperado de <http://www.scielo.sa.cr/pdf/rbt/v59n2/a09v59n2.pdf>
- Gutiérrez Rojas, Y. (2009). *Uso del suelo , vegetación ribereña y calidad del agua de la microcuenca del río Gaira , Santa Marta , Colombia* . Recuperado de [http://repositorio.bibliotecaorton.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/5630/Uso\\_del\\_suelo\\_vegetacion\\_riberena\\_y\\_calidad\\_del\\_agua.pdf;jsessionid=72461410AC91DA22D5BFF6BD67316E09?sequence=1](http://repositorio.bibliotecaorton.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/5630/Uso_del_suelo_vegetacion_riberena_y_calidad_del_agua.pdf;jsessionid=72461410AC91DA22D5BFF6BD67316E09?sequence=1)
- Hammer, Harper, D.A.T., Ryan, PD.2001.PAST: Paleontological Statistics software package for education and, data analysis. *Palaeontologia Electronica* 4(1): 9 pp

Ibañez Esquivel, G. (2012). *Elaboración de un plan de manejo ambiental para la conservación de la sub cuenca del río San Pablo en el cantón la Maná, provincia de Cotopaxi*. Recuperado de <http://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/1577/1/T-UTC-2129.pdf>

IBM Corporation (2013). SPSS Statistics version 22.0. [www.ibm.com](http://www.ibm.com)

Kutschker, A., Brand, C., & Miserendino, M. L. (2009). Evaluación de la calidad de los bosques de ribera en ríos del No del Chubut sometidos a distintos usos de la tierra. *Ecología Austral*, 19(1), 19–34. Recuperado de <http://www.ecologiaaustral.com.ar/files/19-1-2.pdf>

Lojano, L., & Lucero, G. (2011). *Estado de la calidad físico-químico, bacteriológico y biológico del agua, de la subcuenca del río Santa Barbara, en una estación climática, cantones Sigsig, Chordeleg, y Gualaceo provincia del Azuay - Ecuador*. Recuperado de <http://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/168/1/08089.pdf>

Meza, A. M., Rubio, J., Dias, L., & Walteros, J. (2012). Calidad del agua y composición de macroinvertebrados acuáticos en la subcuenca alta del río Chinchiná. *Caldasia*, 34(2), 443–456. Recuperado de <http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:Water+quality+and+composition+of+aquatic+macroinvertebrates+in+the+subwatershed+of+river+Chinchiná#0>

MINAE. (2007). *Reglamento para la evaluación y clasificación de cuerpos de agua superficiales. Apéndice III: El Índice BMWP-CR. La Gaceta Digital, Diario Oficial. San José de Costa Rica* (Vol. 178). Recuperado de [http://www.cimar.ucr.ac.cr/PDFS/Reglamento\\_Evaluacion\\_y\\_Clasificacion\\_Calidad\\_Agua\\_Superficial.pdf](http://www.cimar.ucr.ac.cr/PDFS/Reglamento_Evaluacion_y_Clasificacion_Calidad_Agua_Superficial.pdf)

Montaguano, H., & Salamea, A. (2012). *Plan de manejo ambiental de la cuenca baja del río Ambato tramo comprendido de la quebrada Jarupana a la quebrada seca*. Recuperado de <http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/3589/1/UPS->

- Moreno, C. E. (2001). Métodos para medir la biodiversidad. *M&T - Manuales y Tesis SEA*, 1, 84. Recuperado de <http://doi.org/10.1371/journal.pone.0103709>
- Peralta, L., Deloya, C., & Moreno, P. (2007). Insectos acuáticos asociados a lagos interdunarios de la región central del Estado de Veracruz, México. *Neotropical Entomology*, (June), 342–355. Recuperado de <http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:InsectosAcuaticosAsociadosalosLagosInterdunariosdelaRegionCentraldelEstadodeVeracruz,Mexico1>
- Pino, R., & Bernal, J. (2009). Diversidad, distribución de la comunidad de insectos acuáticos y calidad del agua de la parte alta- media del río David, provincia de Chiriquí, República de Panamá. *Gestion y Ambiente*, (3), 73–84. Recuperado de <http://www.redalyc.org/revista.oa?id=1694>
- Rúa, J., & Roldán, G. (2008). Estudio de emergencia de insectos acuáticos en las zonas de bosque ripario, bosque plantado y pastos, abejorral en Antioquia-Colombia. *Rev. Acad. Colomb. Cienc*, 32(122), 105–123. Recuperado de [http://www.accefyn.org.co/revista/Vol\\_32/122/105-123.pdf](http://www.accefyn.org.co/revista/Vol_32/122/105-123.pdf)
- Rugiero De Souza, V. 2006. Suelos potencialmente aptos para revegetación o uso agrícola a partir de la utilización de biosólidos provenientes de las plantas de tratamiento de aguas servidas en la provincia de Chacabuco, región Metropolitana. Tesis Geógrafa. Santiago, Chile. Universidad de Chile. Facultad de Arquitectura y Urbanismo. 215 p.
- StatSoft.Inc. (2007). STATISTICA (data analysis software system) versión 8.0. [www.statsoft.com](http://www.statsoft.com)
- Teixeira de Mello, F. (2007). *Efecto del uso del suelo sobre la calidad del Agua y las comunidades de peces en sistemas lóticos de la cuenca baja del río Santa Lucía-Uruguay*. Recuperado de [http://ambiente.fcien.edu.uy/tesis/Tesis\\_Franco\\_Teixeira\\_de\\_Mello.pdf](http://ambiente.fcien.edu.uy/tesis/Tesis_Franco_Teixeira_de_Mello.pdf)

- Villegas, I., Macedo, A., & Carrillo, G. (2007). Avances de un sistema de monitoreo de la erosión hídrica y calidad del agua en cuatro microcuencas forestales del campo Las Cruces. *Iberoamericana para la investigación y el desarrollo educativo*, 1, 1–17. Recuperado de file:///C:/Users/norma/Downloads/22-185-1-PB.pdf
- Vimos Lojano, D. J. (2008). *Diagnostico preliminar de la influencia del uso del suelo y densidad poblacional sobre la calidad biológica del agua en la subcuenca del río Santa Bárbara*. Recuperado de <http://cdjbv.ucuenca.edu.ec/ebooks/td4232.pdf>
- Yong Benitez, R. E. (2015). *Influencia de la cobertura vegetal ribereña sobre los macroinvertebrados acuáticos y la calidad hídrica en ríos del bosque protector Murocomba, cantón Valencia, Ecuador*. Recuperado de <http://repositorio.uteq.edu.ec/bitstream/43000/288/1/T-UTEQ-0007.pdf>
- Zambrana Sevilla, Y. Y. (2008). *Plan de manejo y gestión de la subcuenca del río San francisco Matagalpa-Nicaragua*. Recuperado de <http://cenida.una.edu.ni/Tesis/tnp10z24.pdf>
- Zapata, Á., Murgueitio, E., Mejía, C., Zuluaga, A., & Muhammad, I. (2006). Efecto del pago por servicios ambientales en la adopción de sistemas silvopastoriles en paisajes ganaderos de la cuenca media del río La Vieja, Colombia. *Agroforesteria en las Americas*, 45, 86–92. Recuperado de <http://doi.org/10.1186/1471-213X-8-24>

## ANEXO

Características socio-ambientales de la microcuenca “El Sapanal”		
<p><b>USO DE SUELO</b></p> <p><b>1. Tipo de trabajo que realiza</b></p> <p>Agricultura ( )</p> <p>Ganadería ( )</p> <p>Avicultura ( )</p> <p>Porcicultura ( )</p> <p>Empleada/o público ( )</p> <p>Empleada/o privado ( )</p> <p>Quehaceres domésticos ( )</p> <p><b>2. Tipo de cultivo</b></p> <p>Cacao ( )</p> <p>Agroforestal ( )</p> <p>Cultivos de ciclo corto ( )</p> <p>Frutales ( )</p> <p>Maderables ( )</p> <p>Otros..... ( )</p> <p><b>AGRICULTURA</b></p> <p><b>3. ¿Su terreno presenta grado de erosión?</b></p> <p>Leve ( )</p> <p>Moderada ( )</p> <p>Severa ( )</p> <p>Fuerte ( )</p> <p>Extrema ( )</p> <p>Nula ( )</p> <p><b>4. Técnicas utilizadas para la conservación del suelo</b></p> <p>Cultivos en curvas de nivel ( )</p> <p>Zanjas en curvas de nivel ( )</p> <p>Terrazas ( )</p> <p>Cortinas rompe vientos ( )</p> <p>Abonos verdes ( )</p>	<p><b>5. ¿Qué tipo de prácticas utiliza?</b></p> <p><i>Agroforestal</i></p> <p>(Arboles+cultivos) ( )</p> <p><i>Silvopastoril</i></p> <p>(Arboles/frutales+animales) ( )</p> <p><i>Agrosilvopastoriles</i></p> <p>(arboles/frutales+animales+cultivos) ( )</p> <p>Ninguna ( )</p> <p>Tipo de asociación</p> <p>.....</p> <p>.....</p> <p><b>6. ¿Qué tipo de insumos agrícolas utiliza?</b></p> <p>Fertilizantes químicos ( )</p> <p>Abonos orgánicos ( )</p> <p>Pesticidas químicos ( )</p> <p>Pesticidas orgánicos ( )</p> <p>Ninguno ( )</p> <p><b>7. ¿Cuáles son los problemas de manejo de suelo en el sector de la microcuenca?</b></p> <p>Fertilidad ( )</p> <p>Compactación ( )</p> <p>Falta de cobertura vegetal ( )</p> <p>Quema de residuos de cosecha ( )</p> <p>Incorporación de residuos de cosecha ( )</p> <p>Erosión de suelos ( )</p> <p>Cárcavas ( )</p> <p>Almacenaje de agua ( )</p> <p>Uso de suelo fuera de la aptitud natural ( )</p>	<p><b>8. ¿Qué tipo de charlas le gustaría recibir para el mejoramiento del uso de suelo?</b></p> <p>Buenas prácticas agrícolas ( )</p> <p>Manejo de desechos ( )</p> <p>Control de la erosión ( )</p> <p>Reforestación ( )</p> <p>Manejo de la biodiversidad ( )</p> <p>Ecoturismo ( )</p> <p>Compostaje ( )</p> <p><b>GANADERIA</b></p> <p><b>9. Número de animales</b></p> <p>0-5 ( )</p> <p>6-10 ( )</p> <p>11-20 ( )</p> <p>21-30 ( )</p> <p><b>10. ¿Realiza rotación de las áreas utilizadas para el pastoreo?</b></p> <p>Si ( )</p> <p>No ( )</p> <p><b>11. ¿Cuántos años ha utilizado el suelo para ganadería?</b></p> <p>1-5 ( )</p> <p>6-10 ( )</p> <p>11-15 ( )</p>

**Características socio-ambientales de la microcuenca “El Sapanal”**

**12. ¿De dónde proviene el agua que consume el ganado?**

- Río/vertiente ( )
- Pozo profundo ( )
- Charcos artificiales ( )

**13. El área de pastura presenta**

- Cortinas rompe vientos ( )
- Cercas vivas ( )
- Ninguna de las anteriores ( )

**14. ¿Qué técnicas de manejo utiliza para el manejo del pasto?**

- Siembra de plantas forrajeras ( )
- Quema de vegetación ( )
- Aplicación de fertilizantes orgánicos ( )
- Aplicación de fertilizantes químicos ( )
- Control de plagas ( )
- Control manual de malezas ( )
- Otros..... ( )

**USO Y CALIDAD DEL AGUA**

**15. El agua para uso doméstico y otras actividades proviene**

- Agua potable ( )
- Pozo profundo ( )
- Río/vertiente ( )
- Agua de lluvia ( )

**16. El agua para el consumo es de calidad**

- Óptima ( )
- Buena ( )
- Regular ( )
- Mala ( )

**16. Enfermedades frecuentes por el consumo de agua**

- Enfermedades de la piel ( )
- Enfermedades gastrointestinales ( )
- No causa

