



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE  
INSTITUTO DE POSTGRADO**

**MAESTRÍA EN GESTIÓN SUSTENTABLE DE LOS RECURSOS  
NATURALES**

**ESTUDIO MULTITEMPORAL DE CAMBIO DE USO DEL SUELO, EN LA  
MICROCUENCA DEL RÍO ESCUDILLAS**

**Trabajo de Investigación previo a la obtención del Título de Magister en  
Gestión Sustentable de Recursos Naturales**

**DIRECTOR:**

**Ing. José Guzmán Paz Msc.**

**AUTORA:**

**Ing. Nathalie Esmeralda Alvear Puertas**

**IBARRA- ECUADOR**

**2018**

## **APROBACIÓN DEL TUTOR**

En calidad de tutor del trabajo de Grado, presentado por la Ingeniera Nathalie Esmeralda Alvear Puertas, para optar por el título de Magister en Gestión Sustentable de Recursos Naturales, doy fe de que dicho trabajo reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a presentación pública y evaluación por parte del jurado examinador que se designe.

En la ciudad de Ibarra, a 19 días del mes de enero del 2018.

### **LO CERTIFICO**



---

Ing. José Guzmán Paz

C.C: 1002597076

**DIRECTOR DE TESIS**

## APROBACIÓN DEL JURADO

### “ESTUDIO MULTITEMPORAL DE CAMBIO DE USO DEL SUELO, EN LA MICROCUENCA DEL RÍO ESCUDILLAS”

Elaborado: Ingeniera Nathalie Esmeralda Alvear Puertas

Trabajo de Grado de Maestría aprobado en nombre de la Universidad Técnica del Norte, por el siguiente jurado, a 19 enero de 2018.



---

Dra. Patricia Aguirre PhD.



---

Ing. Oscar Rosales Msc.



---

Ing. Hugo Paredes Msc.

## **AUTORIA**

Yo, Nathalie Esmeralda Alvear Puerta declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado, ni calificación profesional, que he consultado referencias bibliográficas que se incluyen en este documento y que todos los datos presentados son resultado de mi trabajo.

En la ciudad de Ibarra, a 19 días del mes de enero del 2018.

### **La Autora**



---

Nathalie Esmeralda Alvear Puertas

C.C. 1003335310



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
**INSTITUTO DE POSTGRADO**  
**BIBLIOTECA UNIVERSITARIA**

**AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA**  
**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**

**1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA**

La Universidad Técnica del Norte dentro del proyecto Repositorio Digital Institucional, determinó la necesidad de disponer de textos completos en formato digital con la finalidad de apoyar los procesos de investigación, docencia y extensión de la Universidad. Por medio del presente documento dejo sentada mi voluntad de participar en este proyecto, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

<b>DATOS DE CONTACTO</b>			
<b>CÉDULA DE IDENTIDAD:</b>	1003335310		
<b>APELLIDOS Y NOMBRES:</b>	Alvear Puertas Nathalie Esmeralda		
<b>DIRECCIÓN:</b>	Atuntaqui, Juan de Velasco 08-97 y 2 de Marzo		
<b>EMAIL:</b>	<a href="mailto:esmeralda_alvear@hotmail.es">esmeralda_alvear@hotmail.es</a>		
<b>TELÉFONO FIJO:</b>	06 2906 592	<b>TELÉFONO MÓVIL:</b>	0987984786
<b>DATOS DE LA OBRA</b>			
<b>TÍTULO:</b>	Estudio multitemporal de cambio de uso del suelo, en la microcuenca del río Escudillas		
<b>AUTORA:</b>	Alvear Puertas Nathalie Esmeralda		
<b>FECHA:</b>	2018-01-19		
<b>SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO</b>			
<b>PROGRAMA:</b>	<input type="checkbox"/> PREGRADO <input checked="" type="checkbox"/> POSGRADO		
<b>TÍTULO POR EL QUE OPTA:</b>	Magíster en Gestión Sustentable de Recursos Naturales		
<b>DIRECTOR:</b>	Ing. José Guzmán Paz		
<b>ASESORA:</b>	Dra. Patricia Aguirre PhD		

## **2. AUTORIZACIÓN DE USO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD**

Yo, Nathalie Esmeralda Alvear Puertas con cédula de ciudadanía 1003335310, en calidad de autora y titular de los derechos patrimoniales de la obra o trabajo de grado descrito anteriormente, hago entrega del ejemplar respectivo en formato digital y autorizo a la Universidad Técnica del Norte, la publicación de la obra en el Repositorio Digital Institucional y uso del archivo digital en la Biblioteca de la Universidad con fines académicos, para ampliar la disponibilidad del material y como apoyo a la educación, investigación y extensión; en concordancia con la Ley de Educación Superior Artículo 144.

## **3. CONSTANCIAS**

La autora manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que es la titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

En la ciudad de Ibarra, a 19 días del mes de enero del 2018.

**La Autora**

---

Nathalie Esmeralda Alvear Puertas  
C.C. 1003335310



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
**INSTITUTO DE POSTGRADO**  
**CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE GRADO A**  
**FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**

Yo, Nathalie Esmeralda Alvear Puertas con cédula de ciudadanía 1003335310, manifiesto mi voluntad de ceder a la Universidad Técnica del Norte los derechos patrimoniales consagrados en la Ley de Propiedad Intelectual del Ecuador, artículos 4, 5 y 6, en calidad de autora del trabajo de grado denominado: “Estudio multitemporal de cambio de uso del suelo, en la microcuenca del río Escudillas”, que ha sido desarrollado para optar por el título de Magíster en Gestión Sustentable en Recursos Naturales, en la Universidad Técnica del Norte, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Técnica del Norte.

En la ciudad de Ibarra, a 19 días del mes de enero del 2018.

**La Autora**

---

Nathalie Esmeralda Alvear Puertas  
C.C. 1003335310

## **DEDICATORIA**

Este trabajo está dedicado a una hermosa familia que ahora está en el cielo, y a mi madre que supo aprender de las circunstancias duras de la vida para ser una mujer más fuerte y no dejarse caer.

*Nathalie*

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios, a mi madre, a mis hermanos, a mis sobrinos y a mi compañero de aventuras, que siempre me han apoyado en las decisiones que he tomado en el transcurso de mi vida y de mi preparación profesional.

A mi Director José Guzmán y a mis Asesores Patricia Aguirre, Oscar Rosales y Hugo Paredes, por guiarme para realizar esta investigación, a mis maestros por compartir su sabiduría durante mi preparación académica para formarme cabalmente.

*Nathalie.*

## CONTENIDO

APROBACIÓN DEL TUTOR.....	ii
APROBACIÓN DEL JURADO .....	iii
AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE .....	v
CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE GRADO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE.....	vi
DEDICATORIA .....	vii
AGRADECIMIENTO .....	ix
CONTENIDO .....	x
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiii
ÍNDICE DE TABLAS .....	xiv
ÍNDICE DE MAPAS .....	xv
RESUMEN.....	xvi
ABSTRACT.....	xvii
CAPÍTULO I.....	1
PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN .....	1
1.1. Introducción .....	1
1.2. Planteamiento del problema.....	2
1.3. Formulación del problema .....	3
1.4. Justificación.....	3
1.5. Objetivos de la investigación .....	4
1.5.1. Objetivo general .....	4
1.5.2. Objetivos específicos .....	4
1.6. Preguntas de investigación.....	4
CAPITULO II. ....	5
MARCO REFERENCIAL .....	5
2.1. Marco teórico .....	5
2.1.1. Modificación de uso de suelo y cambios de cobertura vegetal.....	5
2.1.2. Uso de imágenes satelitales.....	6

2.2.3. Análisis multitemporal .....	7
2.1.4. Manejo de cuencas hídricas .....	7
2.1.5. Servicios ecosistémicos.....	8
2.1.6. Abastecimiento de agua como servicio ecosistémico .....	9
2.1.7. Escurrimiento superficial .....	9
2.1.8. Casos de estudio .....	10
2.2. Marco legal.....	11
2.2.1. Convenios Internacionales .....	11
2.2.2. Constitución del Ecuador .....	12
2.2.3. Leyes, estrategias nacionales y políticas.....	14
CAPITULO III.....	17
METODOLOGÍA .....	17
3.1. Descripción del área de estudio.....	17
3.2. Métodos.....	22
3.2.1. Levantamiento de información .....	23
3.2.2. Sistemas de información geográfica .....	24
3.2.3. Análisis multitemporal .....	24
3.2.4. Tasa de cambios de uso de suelo.....	27
3.2.5. Validación de proceso .....	28
3.2.6. Coeficiente Kappa.....	30
3.2.7. Análisis escurrimiento superficial.....	31
3.2.8. Lineamientos de conservación .....	33
CAPÍTULO IV.....	35
ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS .....	35
4.1. Información base.....	36
4.1.1. Tipo de suelo .....	37
4.1.2. Pendiente .....	39
4.1.3. Tiempo .....	41
4.2. Uso del suelo y cobertura vegetal .....	43
4.3. Tasa de cambio anual .....	45
4.4. Análisis multitemporal .....	46
4.4.1. Validación de resultados .....	47

4.4.2. Percepciones sobre cambio de uso de suelo.....	50
4.5. Análisis de escurrimiento.....	51
4.6. Lineamientos de conservación .....	53
4.6.1. Objetivo de la propuesta de lineamiento de conservación.....	54
4.6.2. Descripción de las temáticas propuestas .....	55
4.6.3. Sistema ecológico ambiental.....	55
4.6.4. Sistema de asentamientos humanos .....	57
4.6.5. Sistema económico.....	58
CONCLUSIONES .....	63
RECOMENDACIONES .....	64
BIBLIOGRAFÍA .....	65
ANEXOS .....	69
ANEXO 1. ENCUESTA APLICADA A ACTORES SOCIALES .....	69
ANEXO 2. LISTADO DE ACTORES SOCIALES IDENTIFICADOS PARA LA MICROCUENCA DEL RÍO ESCUDILLAS.....	70
ANEXO 3. REGISTRO FOTOGRÁFICO .....	71
ANEXO 4. Diagrama análisis precipitación estación Pimampiro M315.....	78

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Pastizales del sector de Raigrás (5.1) y el Palmar (5.2) .....	18
Figura 2. Cultivos de la microcuenca de escudillas .....	19
Figura 3. Matorral de cauces de ríos Monte Olivo.....	20
Figura 4. Bosque natural de la zona alta de la microcuenca .....	21
Figura 5. Principal zona urbana en la parroquia de Monte Olivo .....	21
Figura 6. Flora característica de la zona alta donde se encuentra la laguna de Mainas .....	22
Figura 7. Flujograma de la metodología SIG.....	24
Figura 8.Ecuacion para corrección radiométrica .....	26
Figura 9. Ecuación para corrección atmosférica. Chávez – DOS1 .....	26
Figura 10. Tasa de Cambio Anual.....	27
Figura 11. Localización de la fotografía aérea y visualización de los puntos de inspección (bosque), en la microcuenca del río escudillas .....	47
Figura 12. Factores que favorecen la elección del método de riego. ....	59
Figura 13. Valores indicativos de la eficiencia de la aplicación de las diferentes tecnologías de riego.....	60
Figura 14. Cultivos asociados. ....	61
Figura 15. Mulch. Limonal, .....	61
Figura 16. Cultivo de trigo, .....	62
Figura 17. Labranza mínima. ....	62

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Datos de las imágenes satelitales utilizadas en el análisis multitemporal de la microcuenca del río Escudillas.....	25
Tabla 2. Medidas de precisión de la matriz de confusión .....	29
Tabla 3 Valoración del coeficiente Kappa .....	31
Tabla 4. Factores para la estimación del Escurrimiento Superficial. SCS USA 196432	
Tabla 5. Subcuencas hidrográficas de la cuenca alta del río Mira. ....	35
Tabla 6. Textura de suelos del río Escudillas.....	38
Tabla 7. Pendientes de la microcuenca del río Escudillas .....	40
Tabla 8. Análisis anual de precipitación estación meteorológica Pimampiro M315. 43	
Tabla 9. Cobertura del suelo y tasa de cambio (TDA) en el período 1996 –2017.....	45
Tabla 10. Multitemporal de cambio de uso de suelo en el periodo 1996-2007, para la microcuenca del río Escudillas .....	46
Tabla 11.- Matiz de Confusión para la verificación de los cinco clasificaciones .....	48
Tabla 12. Coeficiente de escorrentía ponderado en la microcuenca del rio Escudillas .....	52
Tabla 13. Coeficiente de escorrentía en relación al flujo superficial convertido en la microcuenca del rio Escudillas .....	52
Tabla 14. Estrategias y temáticas de cada sistema, para la conservación de los recursos hídricos de la microcuenca del río Escudillas. ....	54

## ÍNDICE DE MAPAS

Mapa 1. Ubicación .....	17
Mapa 2. Recorrido de campo .....	23
Mapa 3. Mapa base de la microcuenca del río Mira .....	36
Mapa 4. Mapa base de la zona de estudio de la microcuenca del río Escudillas .....	37
Mapa 5. Textura de suelos de la microcuenca del río Escudilla .....	38
Mapa 6. Mapa de pendientes de la microcuenca del río Escudillas .....	40
Mapa 7. Estaciones meteorológicas .....	42
Mapa 8 De uso y cobertura vegetal 2013 .....	44
Mapa 9. De uso y cobertura vegetal 1996 - 2017 .....	45
Mapa 10. Análisis escorrentía 1996 – 2017 .....	53

## “ESTUDIO MULTITEMPORAL DE CAMBIO DE USO DEL SUELO, EN LA MICROCUENCA DEL RÍO ESCUDILLAS”

**Autor:** Ing. Nathalie Esmeralda Alvear Puertas

**Tutor:** Ing. José Guzman Paz Msc.

**Año:** 2018

### RESUMEN

El estudio multitemporal permitió visualizar las variaciones sucedidas en el transcurso del tiempo, debido a la regeneración natural o a la intervención antropogénica. El objetivo del estudio fue analizar la relación entre el cambio de uso de suelo y la producción de escorrentía para una temporalidad de 20 años, a través del uso de dos imágenes satelitales Landsat, efectuando una clasificación supervisada para los años 1996 y 2017 con menos de 30% de nubosidad. Se realizó una verificación en campo para la identificación de coberturas de suelo y la confirmación de las imágenes satelitales. Para el cálculo de escorrentía se utilizó la metodología de álgebra de mapas. Los principales resultados muestran que la precipitación ha tenido periodos de incremento y de sequía muy variables. El valor convertido en flujo superficial varía entre los dos años, con una aproximación de disminución del 50% en referencia al año 1996, concluyendo que si hay incidencia en relación al cambio multitemporal de suelo. La variación de uso de suelo está determinada por la intervención antrópica, principalmente se observó que las áreas destinadas a pastos y cultivos (agrosilvopastoril) se incrementaron, dando crecimiento al avance de la frontera agrícola. Será preciso señalar que la deforestación no muestra un valor significativo, ya que la clase bosque ha decrecido únicamente el 2,04% del total del área de la microcuenca. La población entrevistada ha señalado que la posible causa del desabastecimiento, no sea la reducción de agua, sino la distribución de la misma en relación a la producción agrícola. De esta manera, los nuevos predios agrícolas producen cultivos que requieren más demanda de agua de riego, como son, los frutales y los cultivos bajo invernadero.

**Palabras clave:** microcuenca, Escudillas, multitemporal, escurrimiento, lineamientos, sustentabilidad.

“ESTUDIO MULTITEMPORAL DE CAMBIO DE USO DEL SUELO, EN LA MICROCUENCA DEL RÍO ESCUDILLAS”

**Autor:** Ing. Nathalie Esmeralda Alvear Puertas

**Tutor:** Ing. José Guzman Paz Msc.

**Año:** 2018

## ABSTRACT

The study done in different years allowed to visualize the given changes generated either by nature or by anthropogenic intervention over the years. The main objective was to analyze the relationship between the change of the soil and the water flow production over a period of twenty years by using satellite Landsat images to study a selected area with less than 30% of cloudiness, in 1996 and in 2017. A verification on the field was carried out to confirm the soil coverage and the satellite image and, the algebra of maps was used to calculate the water flow. The main results show that increasing periods of precipitation and droughts have been very changeable. The value converted into superficial flow varies between the two years, with a 50% decrease in reference to the year 1996, concluding that if there is an incidence in relation to the multitemporal change of soil. The given variation is by the use of the soil due to the anthropogenic intervention. It was mainly seen that the grass fields and crops have notably increased allowing the agriculture field to expand. An appreciated result for the present study shows that the deforestation does not really make an impact since the woodlands have decreased only in a 2,04% of the total area of the micro watershed. The interviewed people mentioned that the possible lack of irrigation water is not in arrears to a water reduction, but to its distribution to the new harvests such as fruit or greenhouse crops since they demand more irrigation.

**Keywords:** micro basin, Escudillas, multitemporal, runoff, guidelines, sustainability.



# **CAPÍTULO I**

## **PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN**

### **1.1. Introducción**

La relación entre el ser humano y el agua es tan antigua como nuestra historia como especie, desde los inicios de la agricultura el hombre ha desarrollado maneras de manipular el agua y las laderas en su beneficio (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2007). Debido a que el agua es un factor indispensable para el desarrollo de esta actividad económica, la ecología de las cuencas tiene una gran importancia para la población, el suministro de agua dulce depende de la capacidad de la población de manejar este recurso que llega a las zonas bajas desde las partes altas. La seguridad alimentaria depende en buena parte del agua y los sedimentos que con este llegan, una mala gestión de las cuencas hídricas genera numerosos problemas. La deforestación, malas prácticas agrícolas en las laderas y el exceso de pastoreo pueden incrementar los escurrimientos.

Dentro de la cuenca del río Mira, se desarrollan varias actividades económicas productivas, la alta demanda de agua para riego genera impactos ambientales y un déficit en el desarrollo agro productivo de la zona. La cuenca del río Mira posee una extensión de 535.729,31 ha., y se encuentra drenada principalmente por los afluentes de los ríos Apaquí, Mataquí, Ambi, Chota.

Entre los afluentes secundarios se encuentra la microcuenca del río Escudillas, la cual es el eje central del estudio. El río Escudillas es uno de los principales medios para el desarrollo de la agricultura en la zona, lugar que se caracteriza por la producción agrícola de tomate, pimiento, pepino, entre otros.

Debido a que es un componente importante y parte fundamental para el desarrollo económico de la zona norte, es imprescindible enfocar estudios de transformación multitemporal de usos de suelo y cobertura vegetal, para poder determinar las

afectaciones y puntuar aquellas medidas que se deberían ejecutar para evitar la escasez del recurso hídrico y la conservación de los servicios ecosistémicos.

## **1.2. Planteamiento del problema**

El acceso al agua para la vida es una necesidad humana básica al mismo tiempo que es un derecho humano fundamental. El estudio del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (2006) señala que los síntomas de la explotación en exceso son preocupantemente claros: los ríos están secándose, los niveles de la capa freática están disminuyendo y los ecosistemas dependientes del agua están sufriendo una rápida degradación.

El crecimiento agrícola y el crecimiento de la demanda de recursos naturales para abastecer las necesidades de la población, ha generado que las zonas de conservación vayan cambiando en el tiempo, en la parroquia de Monte Olivo. La escasez de agua para el riego se ha ido incrementando notoriamente con el paso de los años, y en base a que el desarrollo económico depende de este recurso, es necesario un manejo adecuado.

El avance de la frontera agrícola, el aumento de población y el incremento de actividades ganaderas ha generado que con el paso del tiempo la cobertura vegetal propia de la microcuenca vaya cambiando. En el estudio realizado por Rodríguez et al (2012) señala que existinten distintas problemáticas relacionadas al uso del agua, como secado de pozos, escasez en época estival, distribución, entre otros; esto debido a que los usos de suelo han ido variado en el transcurso de los años.

### **1.3. Formulación del problema**

El cambio de uso del suelo de la microcuenca del río Escudillas, ha generado un problema para la población dedicada a la agricultura, debido a la escasez y a la mala distribución del agua para riego en la cuenca media y baja. En el transcurso de los años se ha incrementado la demanda del recurso hídrico, mismo que es indispensable para el desarrollo agrícola sostenible en la zona.

### **1.4. Justificación**

El Estudio Ecológico de la región de Intag, afirma que el aumento de la pérdida de la cobertura forestal en todo el mundo ha reducido el suministro de agua debido a recargas de acuíferos más bajas y a la baja fiabilidad de flujo (Kocian, Batker, & Harrison-Cox, 2011). Es así que se realiza este estudio para determinar la variación del uso del suelo, y de esta manera analizar si el cambio de cobertura afecta al escurrimiento de agua que aporta al caudal del río Mira.

## **1.5. Objetivos de la investigación**

### **1.5.1. Objetivo general**

Analizar la relación entre el cambio de uso del suelo y la producción de escorrentía en la microcuenca del río Escudillas, para una temporalidad de 20 años.

### **1.5.2. Objetivos específicos**

- Identificar los cambios en uso del suelo y cobertura vegetal a través de unidades espaciales.
- Determinar la variación de la escorrentía en la microcuenca del río Escudillas.
- Establecer lineamientos para la conservación de los recursos hídricos de la microcuenca.

## **1.6. Preguntas de investigación**

¿Qué cambio o alteraciones en el uso del suelo y cobertura vegetal se pueden evidenciar a través del empleo de imágenes satelitales y aplicación de SIG?

¿Cuáles son los escenarios de ocupación de uso de suelo y la dinámica de cambio de cobertura vegetal para establecer unidades espaciales?

¿Cuál es la relación entre el cambio de usos del suelo y la variación de escorrentía en la microcuenca?

¿Qué lineamientos son necesarios establecer para la conservación de los recursos hídricos y así asegurar la provisión de los servicios ecosistémicos de la microcuenca?

¿El análisis multitemporal en la microcuenca del río Escudilla contribuye a la conservación de la misma?

## **CAPITULO II.**

### **MARCO REFERENCIAL**

#### **2.1. Marco teórico**

##### **2.1.1. Modificación de uso de suelo y cambios de cobertura vegetal**

Si bien la cobertura terrestre y el uso de la tierra están relacionados, aunque no son lo mismo, la afectación del suelo es un problema para el desarrollo económico de las poblaciones. En su investigación López (2002) cita a Blum, (1998) el cual expone que hay al menos seis usos principales del suelo y de la tierra los cuales se relacionan con la degradación, entre ellos están: la producción de biomasa, el suelo como filtro, hábitat biológico, base para construcción de estructuras, almacén de fuentes de energía, herencia de bienes y servicios.

Existen diversos factores que influyen en el cambio del uso del suelo, “Como los ambientales, demográficos, económicos y socioculturales, que en su conjunto llegan a provocar un deterioro ambiental e impactos en los ecosistemas” (Bocco, Mendoza, & Masera, 2001). Estos cambios conllevan implicaciones en relación con la pérdida de hábitat, biodiversidad, bienes y servicios ambientales y la capacidad productiva de los ecosistemas a la vez que ocasiona un impacto desde el punto de vista geográfico.

En el estudio realizado por López, Balderas, Chávez, & Juan (2014) afirman que es necesario aplicar políticas efectivas y eficientes para mantener en condiciones adecuadas en los ambientes que actualmente están con usos de bosques, cuerpos de agua y otras asociaciones de vegetación natural, ya que de no aplicar las que son para el manejo sustentable de los recursos naturales, los territorios podrán sufrir presiones ambientales.

Los estudios sobre los procesos de cambio en la cobertura y uso del suelo se encuentran en el centro de la atención de la investigación ambiental actual (Bocco, Mendoza, & Masera, 2001), ya que la de degradación del terreno implica una declinación en la condición natural del recurso base. Una síntesis de la investigación global acerca de la degradación del terreno inducida por el ser humano estima que el 69.5% de las tierras se encuentran afectadas por varias formas de degradación del terreno.

Aun cuando los problemas de degradación de suelos han sido evidentes a lo largo de la historia, en la actualidad alcanza proporciones descomunales y alarmantes, ya que tiene la capacidad de producir impactos importantes en el bienestar de la humanidad y el ambiente (López, 2002).

### **2.1.2. Uso de imágenes satelitales**

Las imágenes satelitales permiten obtener información a bajo costo. Los nuevos satélites comerciales ofrecen características como resolución, precisión posicional y tiempo de entrega, aumentando la variedad de posibles aplicaciones. En vista del corto tiempo previsto para la entrega y de costos bajos, las imágenes satelitales se han convertido en una alternativa para varios estudios.

Cuando se trata de investigaciones sobre suelos, entre las varias ventajas del uso de sistemas de información geográfica SIG, se encuentra que los modelos son eficiente, debido a que muchos años pueden ser simulados o analizados rápidamente y a relativamente bajo costo, todo ello para numerosas localidades y estrategias de manejo (López, 2002).

El uso de SIG se considera un conjunto de herramientas que permite reunir, almacenar, analizar, transformar y cartografiar datos espaciales sobre el mundo real (Burrough, 1988), a base imágenes satelitales.

Existen varios tipos de imágenes satelitales como: IKONOS, Spot y Radarsat que son comerciales y Landsat que se encuentra disponible para todo el mundo, estas usan

memoria interna, así que si el satélite está fuera del alcance de alguna de las estaciones de tierra el satélite puede grabar los datos para una transmisión más tarde.

### **2.2.3. Análisis multitemporal**

En el ámbito mundial una de las metodologías modernas y de más uso es la utilización de los sensores remotos, esta metodología es utilizada para identificar, describir, cuantificar y monitorear los cambios de la cobertura vegetal, los avances de la frontera agrícola y los patrones de comportamiento de estas unidades espaciales, por actividades y alteraciones antropogénicas o cambios climáticos, así como la descripción de escenarios tendenciales (Geoplades, 2009).

El análisis multitemporal permite entender las condiciones del pasado y su potencial futuro en un contexto de cambio global. Los estudios sobre ocupación del suelo están basados en la caracterización sistemática de la cobertura de la superficie terrestre, a partir de los patrones de información que proporcionan imágenes aéreas o de satélite. El resultado final es la cartografía de cambio de la vegetación y uso de suelo sobre la serie temporal de imágenes.

### **2.1.4. Manejo de cuencas hídricas**

Dentro del proceso que se requiere para obtener un manejo adecuado de un cuerpo hídrico, se requiere en sí un manejo integro de toda la cuenca, Escobar (1995) indica que es importante superar el grado de degradación de los recursos existentes, se propicia la intervención de los medios físicos, bióticos y socio económicos, que contribuirán al mejoramiento de la calidad de vida de las poblaciones en relación a la mejora de las condiciones de los recursos naturales. Es importante que se realicen estudios en conjunto de las sub cuencas y áreas de afectación, así se podrá plantear soluciones que abarquen todos los conflictos y de soluciones a la vez específicas.

La importancia del manejo integral de las cuencas hidrográficas radica en que se constituye en un sistema productor de bienes y servicios múltiples (Tixilima, 2015).

El abastecimiento de los recursos hídricos es fundamental para pueblos en desarrollo, es necesario que se realice una adecuada administración y conservación de todos los recursos naturales de las cuencas hídricas para garantizar su sustentabilidad y así exista un aporte directo al desarrollo socioeconómico.

#### **2.1.5. Servicios ecosistémicos**

Los servicios ecosistémicos han sido durante décadas un campo de estudio muy amplio, dentro del cual se han buscado definiciones que engloben y representen de forma clara todo lo que éstos abarcan. Algunos autores señalan que los servicios ecosistémicos son las situaciones y métodos mediante los cuales los ecosistemas naturales y las especies que en ellos habitan, satisfacen las necesidades de la vida humana (Daily, 1997). De forma concreta se refiere a los beneficios que la población adquiere de los distintos ecosistemas, sea directa o indirectamente.

La Evaluación de Ecosistemas del Milenio (2003), clasifica a los servicios ecosistémicos en cuatro categorías servicios de aprovisionamiento, servicios de regulación, servicios de hábitat, servicios de información, que indican su papel ecológico específico, estos son:

- **Servicios de aprovisionamiento:** Son aquellos bienes o productos elementales que se obtienen directamente de los ecosistemas, tales como: alimentos, agua dulce, leña, fibras, bioquímicos, recursos genéticos.
- **Servicios de regulación:** Son aquellos beneficios obtenidos de la regulación de procesos de los ecosistemas, entre los principales encontramos: Regulación de clima, regulación de enfermedades, regulación y saneamiento del agua, polinización.
- **Servicios de hábitat:** Son los servicios destinados a proveer refugio y hábitat para la reproducción de plantas, animales y seres humanos, y que a su vez contribuyen en la conservación de la diversidad biológica y genética.

- Servicios de información: Aquellos servicios que permiten una comunicación entre el ser humano y la naturaleza que lo rodea, en esta categoría intervienen las áreas protegidas y los lugares destinados a la convivencia con la naturaleza.

La idea de dividir los servicios ecosistémicos en distintas categorías nace por el interés de preservar la biodiversidad debido a que la pérdida de los recursos naturales tendría consecuencias muy severas para el bienestar social. La Evaluación de Ecosistemas del Milenio manifiesta que a pesar de que estos servicios no tienen un precio, ciertamente posee un valor vital para el desarrollo adecuado de la población.

#### **2.1.6. Abastecimiento de agua como servicio ecosistémico**

Dentro de esta categoría para servicios ecosistémicos se encuentra: *Suministro de agua*, provisión de agua para uso consuntivo, incluye calidad y cantidad” (Kocian, Batker, & Harrison-Cox, 2011). Las cuencas son productoras de agua, incluyendo aguas superficiales y subterráneas. El ciclo hidrológico es afectado por los elementos estructurales de una cuenca, tales como bosques, humedales, y geología, así como procesos, tales como la evapotranspiración y el clima. Según el PNUMA el 60% de la población mundial recibe su agua potable de cuencas forestadas, por esta razón se puede considerar el estudio entre el cambio de uso de suelo y varios de los Servicios ecosistémicos: Suministro de agua.

#### **2.1.7. Escurrimiento superficial**

Las aguas que llegan a los cauces de drenaje desde la divisoria de aguas de una cuenca, constituyen los volúmenes escurridos provenientes de lluvias, que se desplazan en forma superficial, subsuperficial o subterránea. De la precipitación, una parte es captada por las plantas, otra se almacena superficialmente y otra porción se infiltra en el suelo, aportando a los cauces naturales de drenaje. El escurrimiento superficial es el que se desliza hacia los cauces de drenaje durante y después de la precipitación, esto se debe a los excesos de la capacidad de infiltración del suelo, el escurrimiento total

de una corriente se forma del escurrimiento directo y el escurrimiento base (llamado caudal de estiaje) (Murillo Illanes, 2010).

#### **2.1.7.1. Coeficiente de escurrimiento**

El coeficiente de escurrimiento no es un valor constante, ya que varía o depende de la intensidad de la precipitación y de las condiciones de cuenca. Murillo Illanes, (2010) señala que *“cuando no existen datos de aforo a la salida de la cuenca, la estimación del factor "C" se basa en la comparación con otras características”*, las cuales permitan determinar el factor C. Existen varias propuestas por diferentes autores para la estimación de este valor, en referencia a características edáficas, uso de suelo, relieve, texturas del suelo.

#### **2.1.8. Casos de estudio**

En el estudio realizado por (Ruiz, Herrera, & Savé, 2013) sobre el análisis multitemporal del cambio de uso del suelo, en el Paisaje Terrestre Protegido Miraflor Moropotente Nicaragua, 1993 – 2001, se pudo concluir que el cambio de uso del suelo es evidente, mostrado en diferentes paisajes afectados, determinar el cambio de uso del suelo es importante para la conservación de la biodiversidad y de recarga hídrica, de igual manera para la planificación, ordenamiento del territorio y ejecución de acciones de restauración de los ecosistemas fragmentados.

Otro de los estudios que arrojan resultados evidentes de cambios de ocupación de suelo, es el análisis multitemporal de cambios de uso del suelo y coberturas, en la microcuenca las minas, corregimiento de la laguna, municipio de pasto, el estudio mostró una pérdida del recurso natural bosque secundario con una deforestación por año de 3.08 has, y un aumento en relación a cultivos (Muñoz, Rodríguez, & Romero, 2008), lo cual ocasiona problemas sociales y ambientales.

En el estudio de López, Balderas, Chávez, & Juan (2014) señalan que la afectación identificada en el estudio multitemporal ocasiona dos impactos básicos para los

habitantes del área mazahua: el primero es la reducción de bosque y el segundo es la disminución de la capacidad de captación de agua como bien y servicio ambiental, consecuencia de procesos de degradación del suelo.

Los cambios que se originan en cuencas hídricas o zonas de recarga de hídrica, son los que principalmente se han identificado en los estudios. El abastecimiento del recurso hídrico es un servicio ambiental que debe ser cuidado para asegurar la calidad de vida de la población. A través de estos estudios multitemporales se ha logrado evidenciar lo que es muy evidente en la situación actual de los pueblos, es trascendental que estas investigaciones sirvan de base fundamental para tomar medidas de remediación y conservación que garanticen la sustentabilidad de todos los recursos naturales.

## **2.2. Marco legal**

### **2.2.1. Convenios Internacionales**

En 1992 se suscribió y ratificó el Convenio sobre la Diversidad Biológica, según consta en los Registros Oficiales No. 109 y 146. El cual regula la conservación y utilización sustentable de la biodiversidad y sus componentes, y establece la participación justa y equitativa en los beneficios que se deriven de la utilización de los recursos genéticos asociados, reconociendo el derecho soberano que ejercen los Estados sobre sus recursos biológicos (Organización de Naciones Unidas, 1992).

El Convenio UNESCO sobre el Patrimonio Cultural y Natural de la Humanidad se enfoca en la protección de los bienes culturales y naturales del mundo, donde se encuentran inscritas algunas reservas ecológicas del país como Las Islas Galápagos, el parque Nacional Machalilla, Sangay entre otros (Organización de Naciones Unidas, 1972).

La Estrategia Regional de Biodiversidad para los Países del Trópico Andino, adoptada por la Decisión 523 de la Comunidad Andina (julio de 2002), destaca también la importancia de adelantar programas y proyectos de investigación y desarrollo

relacionados con iniciativas de conservación y manejo adecuado de la biodiversidad. Promueve además que las políticas sectoriales y los proyectos de desarrollo con impacto subregional integren en todo su ciclo elementos específicos de conservación de biodiversidad y desarrollo sustentable (Ojasti, 2001).

La Declaración del Milenio señala en su Objetivo IV. Protección de nuestro entorno común, en el numeral 23: “Decidimos, por consiguiente, adoptar una nueva ética de conservación y resguardo en todas nuestras actividades relacionadas con el medio ambiente” (Organización de Naciones Unidas, 2000, p.6). Es así que es un desafío emergente para el Estado y la sociedad ecuatoriana, disminuir, controlar la reducción creciente del capital natural y la degradación ambiental en el Ecuador ya que es una tarea prioritaria que no puede esperar.

### **2.2.2. Constitución del Ecuador**

La Constitución del Ecuador vigente desde el año 2008, incluye varios artículos destinados a la protección, control y cuidado del medio ambiente como derechos de la “pacha mama” tierra madre.

En el artículo 14, Capítulo segundo- Derechos del buen vivir - Sección segunda- Ambiente sano, explica que se reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir, *sumak kawsay*. Además, se declara de interés público la preservación del ambiente, la conservación de los ecosistemas, la biodiversidad y la integridad del patrimonio genético del país, la prevención del daño ambiental y la recuperación de los espacios naturales degradados (Constitución de la República del Ecuador, 2008).

En el título VII Régimen del Buen Vivir, capítulo segundo de la Constitución se habla de la, Biodiversidad y Recursos Naturales, el Art 395 por su parte expone que la Constitución reconoce los siguientes principios ambientales:

- El Estado garantizará un modelo sustentable de desarrollo ambientalmente equilibrado y respetuoso de la diversidad cultural, que conserve la biodiversidad y la capacidad de regeneración natural de los ecosistemas, y asegure la satisfacción de las necesidades de las generaciones presentes y futuras.
- Las políticas de gestión ambiental se aplicarán de manera transversal y serán de obligatorio cumplimiento por parte del Estado en todos sus niveles y por todas las personas naturales y jurídicas en el territorio nacional.
- El Estado garantizará la participación activa y permanente de las personas, comunidades, pueblos y nacionalidades afectadas, en la planificación, ejecución, y control de toda actividad que genere impactos ambientales.
- En caso de duda sobre el alcance de las disposiciones legales en materia ambiental, éstas se aplicarán en el sentido más favorable a la protección de la naturaleza.

*En el Art. 318. se señala que el agua es patrimonio nacional estratégico de uso público, dominio inalienable e imprescriptible del Estado, y constituye un elemento vital para la naturaleza y para la existencia de los seres humanos. Se prohíbe toda forma de privatización del agua.*

- La gestión del agua será exclusivamente pública o comunitaria. El servicio público de saneamiento, el abastecimiento de agua potable y el riego serán prestados únicamente por personas jurídicas estatales o comunitarias.
- El Estado fortalecerá la gestión y funcionamiento de las iniciativas comunitarias en torno a la gestión del agua y la prestación de los servicios públicos, mediante el incentivo de alianzas entre lo público y comunitario para la prestación de servicios.

- El Estado, a través de la autoridad única del agua, será el responsable directo de la planificación y gestión de los recursos hídricos que se destinarán a consumo humano, riego que garantice la soberanía alimentaria, caudal ecológico y actividades productivas, en este orden de prelación. Se requerirá autorización del Estado para el aprovechamiento del agua con fines productivos por parte de los sectores público, privado y de la economía popular y solidaria, de acuerdo con la ley.

*En el Art. 400 señala que el Estado ejercerá la soberanía sobre la biodiversidad, cuya administración y gestión se realizará con responsabilidad intergeneracional. Se declara de interés público la conservación de la biodiversidad y todos sus componentes, en particular la biodiversidad agrícola y silvestre y el patrimonio genético del país.*

*En el Art. 414.- El Estado adoptará medidas adecuadas y transversales para la mitigación del cambio climático, mediante la limitación de las emisiones de gases de efecto invernadero, de la deforestación y de la contaminación atmosférica; tomará medidas para la conservación de los bosques y la vegetación, y protegerá a la población en riesgo.*

### **2.2.3. Leyes, estrategias nacionales y políticas.**

En el documento de Política y Estrategia Nacional de Biodiversidad del Ecuador 2001 – 2010, señala que el desarrollo de éstos y otros marcos de política internacional, Ecuador, ha formulado también un conjunto de políticas y normas de importancia capital para la conservación de la biodiversidad, entre ellas: la Ley de Gestión Ambiental del Ecuador (1999); la Estrategia Ambiental para el Desarrollo Sustentable del Ecuador (MAE, 2000); Estrategia para el Desarrollo Forestal Sustentable del Ecuador (MAE, 2000 y actualizada en el 2005); la Política y Estrategia Nacional de Biodiversidad del Ecuador, 2001-2010 (MAE, 2001); la Estrategia de Cambio Climático (2006) y el Plan Nacional de Forestación y Reforestación (2006).

Los Instrumentos de Gestión fundamentales constituyen los componentes de: la gestión económica, la planificación, la gestión tecnológica, la evaluación de impactos, los planes de manejo, y el desarrollo de la capacidad de gestión local (Albán, 2010).

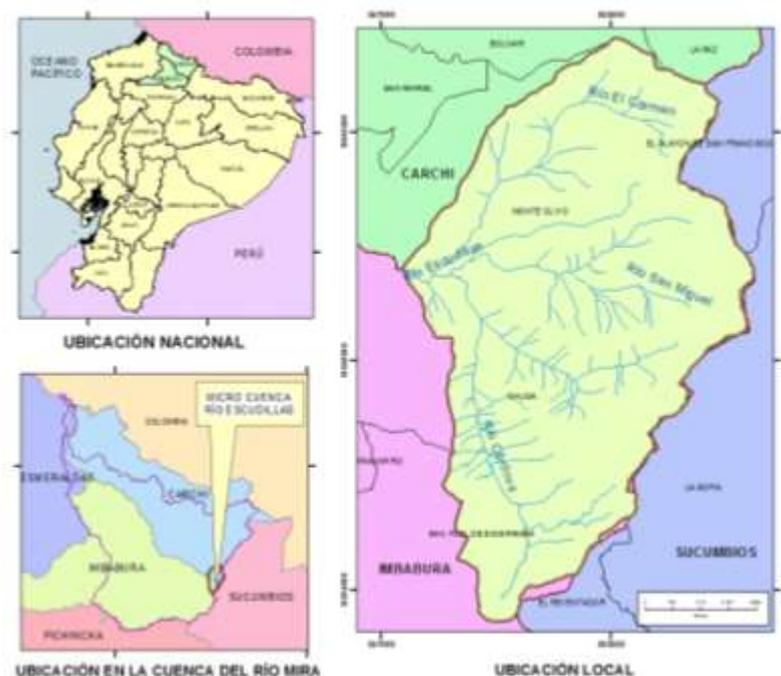


## CAPITULO III. METODOLOGÍA

En el siguiente capítulo se detalla los métodos y técnicas de investigación que se utilizaron para el estudio.

### 3.1. Descripción del área de estudio

La presente investigación se realizó en la microcuenca del río Escudillas ubicado en las parroquias de Monte Olivo, Chuga y Sigsipamba, en las provincia de Carchi e Imbabura, en donde se encuentra el río Escudillas, desde sus afluentes en la zona de montaña alta, hasta los afluentes adicionales de la cuenca baja, para posteriormente formar el río Mira, se observa la localización política y administrativa (Mapa 1).



Mapa 1. Ubicación

ZONA ADMISTRATIVA:	Zona 1
PROVINCIA:	Carchi e Imbabura
CANTÓN:	Bolívar y Pimampiro
PARROQUIA:	Monte Olivo, Chuga, Sigsipamba
SUPERFICIE:	8.193 ha

La microcuenca se caracteriza por ser una zona dedicada a la agricultura, la población principalmente cultiva productos frutales y bajo invernadero (tomate y pimiento). Los cuales son comercializados en los mercados de Ibarra y Bolívar. Otro de los usos de suelos que también presentan ingresos económicos a la población son los pastizales, se pudo identificar que un porcentaje de la población se dedica a la crianza de ganado principalmente en la parte de microcuenca ubicada en la provincia del Carchi.

Las clases de uso y cobertura vegetal identificadas son:

- **Pastos**

Los pastizales conforman una de las unidades productivas de la zona intervenida, son producto del avance de la frontera agrícola y que ha venido generando uno de los principales cambio de uso de suelo.

Para la clasificación de SIGAGRO 2013 se encuentran asociados con cultivos de ciclo corto y vegetación arbustiva, lo que también se evidencio en la visita técnica del mes de julio 2017 (Figura 1).

5.1



5.2.



*Figura 1. Pastizales del sector de Raigrás (5.1) y el Palmar (5.2)*

- **Cultivos**

Estas unidades productivas se presentan generalmente en la zona media y baja de la microcuenca, tanto como pequeñas parcelas agro productivas y fincas agro productivas; los principales cultivos de la zona son frutales como: mandarina, tomate de árbol, aguacate y granadilla, adicionalmente se tiene cultivos de ciclo corto entre los que se encuentra maíz, haba y frejol (Figura 2). El incremento de esta práctica agrícola, es también una de la causas del avance de la frontera agrícola.



Cultivos de tomate de árbol – Monte Olivo



Cultivos de maíz – Monte Olivo



Cultivos de aguacate – El Aguacate



Cultivos de granadilla Chuga

*Figura 2. Cultivos de la microcuenca de escudillas*

- **Vegetación arbustiva – Matorral**

Está constituida por áreas de vegetación arbórea, con diferentes niveles de influencia antropogénica y de sucesión vegetal, distribuida desde la zona baja en los cauces de los afluentes hasta las estribaciones de cordillera (Figura 3). Esto ocurre generalmente en zonas que han presentado algún cambio parcial en su uso de suelo y que se han adaptado y regenerado naturalmente.



*Figura 3. Matorral de cauces de ríos Monte Olivo*

- **Bosque**

Comprende principalmente vegetación arbórea, de diferente altitud, diámetro, grado de humedad y densidad, considerado como producto de una interacción entre pisos climáticos y el suelo de una micro región, en el que no han intervenido factores externos. Se desarrolla principalmente en la zona alta de la microcuenca con características fisonómicas de acuerdo a la altitud (Figura 4).



*Figura 4. Bosque natural de la zona alta de la microcuenca*

- **Zona urbana sin cobertura vegetal**

La zona urbana se caracteriza por áreas pequeñas, con viviendas e infraestructura básica, la zona baja de la microcuenca principalmente se caracteriza por tener casas de haciendas o fincas disgregadas en el sector (Figura 5).



*Figura 5. Principal zona urbana en la parroquia de Monte Olivo*

- **Cuerpo de agua**

Dentro de la microcuenca se encuentra un cuerpo de agua, que corresponde a la LAGUNA DE MAINAS en el sector el Palmar, con un área aproximada de 10 hectáreas, se encuentra en la parte alta de la microcuenca a 7 horas de caminata desde

Monte Olivo. La flora y la fauna son diversas en razón al piso climático característico de la zona (Figura 6).



Figura 6. Flora característica de la zona alta donde se encuentra la laguna de Mainas

Fuente: (Rosero, 2012)

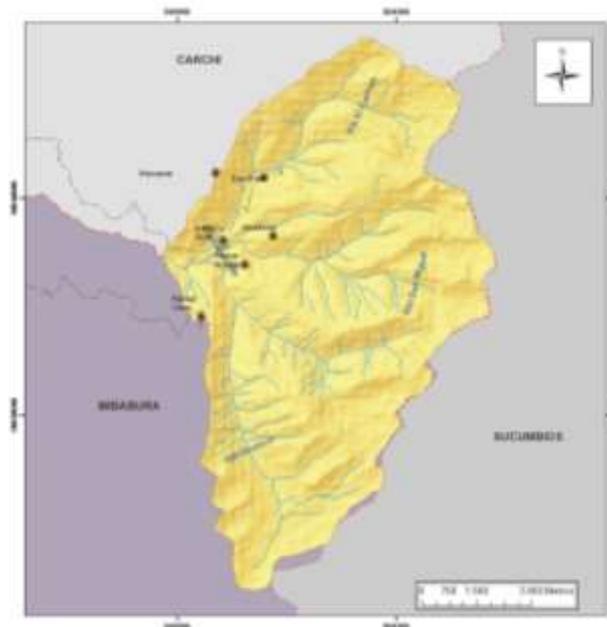
### 3.2. Métodos

A continuación se detallan los tipos de métodos y técnicas de investigación que se utilizaron para el estudio multitemporal del río Escudillas, que permitieron plantear medidas para conservación de los recursos naturales y el desarrollo sostenible de la población involucrada.

### 3.2.1. Levantamiento de información

El área de estudio se encuentra ubicada dentro de la cuenca del río Mira, la visita técnica de campo inicial permitió el reconocimiento de la zona y obtención de una amplia visión del efecto real de las alteraciones de la microcuenca. Durante las salidas de campo se registraron datos que permitieron registrar las características de cada uno de los usos de suelos actuales. Las visitas técnicas posteriores se realizaron a la par de la elaboración de los mapas (base, ubicación, recorrido, cobertura, pendiente, suelo) y el análisis multitemporal, para verificar en sitio los resultados que proyectan el uso del SIG sobre cambios de uso de suelo y cobertura vegetal. Esta información se registró a través de un mapa de salida de campo de los lugares principales de visita (Mapa 2).

Se utilizó el método de investigación cualitativa, con la técnica de entrevista a un grupo de actores sociales identificados en la zona de estudio, con un desglose de cuatro preguntas directas. Así se comparará entre los resultados del SIG y la percepción de la sociedad de la microcuenca. Los actores sociales corresponden a personas que son líderes de grupo o asociaciones y que son la voz de las demás personas.



Mapa 2. Recorrido de campo

### 3.2.2. Sistemas de información geográfica

De acuerdo a la metodología aplicada en el estudio de Lozano & Villarroel (2009), el cual utiliza imágenes satelitales de los sensores ASTER y LANDSAT, que poseen resolución espacial de 30m, y una resolución espectral correspondiente a las bandas del espectro visible e infrarrojo cercano. La unidad mínima de interpretación digital entonces será de 0,09ha (sin distorsión de píxel), así se podrá diferenciar los tipos de cobertura vegetal: bosque, agrosilvopastoril, agua y suelos desnudos y áreas pobladas. Las imágenes tienen una temporalidad que va desde los últimos 20 años con diferentes niveles de cobertura espacial y grado de nubosidad.

Se utilizó cartografía base del IGM a escala 1:250000 y 1:50000 para el levantamiento de la línea base, esta información fue procesada con el programa ARCMAP 10.3, el flujograma de los procesos adicionales se describe en la (Figura 7).

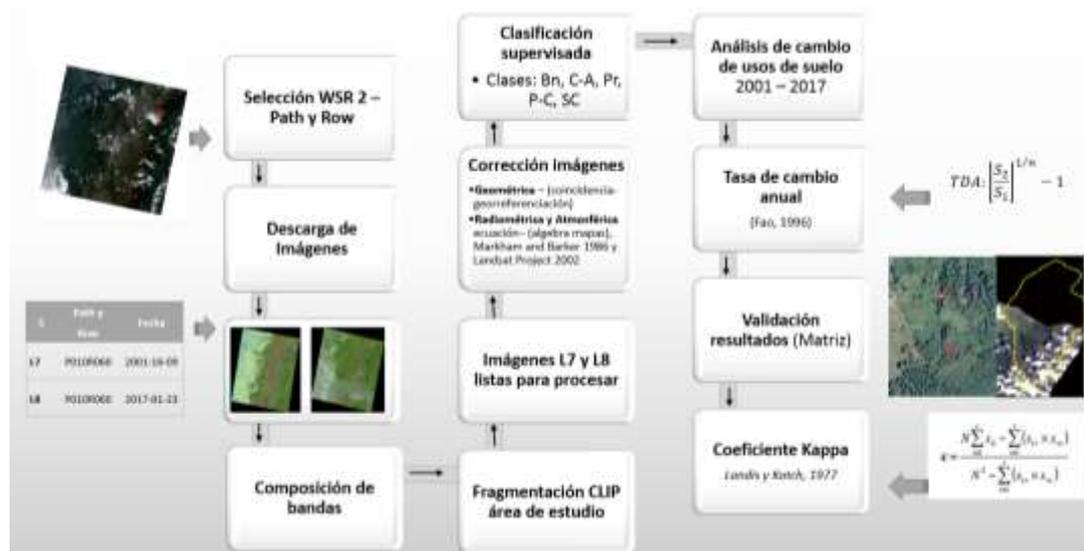


Figura 7. Flujo de la metodología SIG

### 3.2.3. Análisis multitemporal

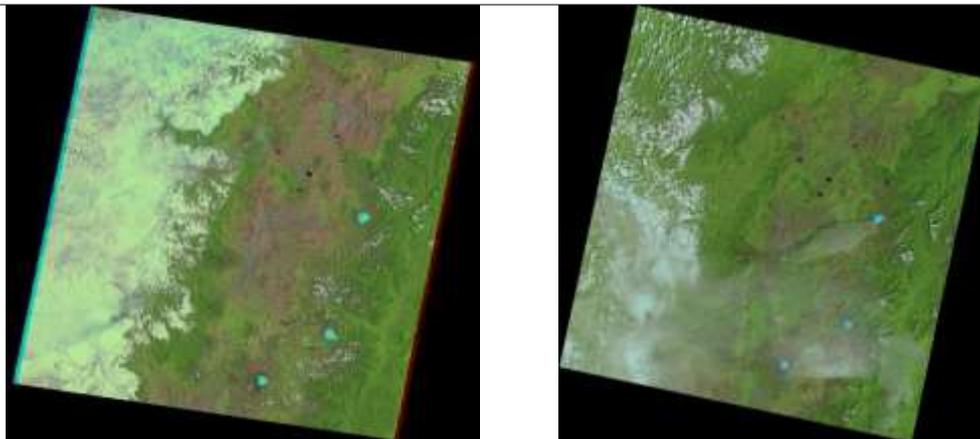
Se realizó una comparación de las imágenes satelitales disponibles, la metodología a utilizarse es la propuesta por Chuvieco (2002), en donde se presentan las transiciones

que se producen en los periodos de tiempo, lo que permitirá clasificar superficies, no sólo de las zonas de cambio, sino también comparar la cobertura original y la actual.

Se seleccionó imágenes satelitales correspondientes a los años 1996 y 2017 con menos del 30% de nubosidad, proporcionadas por el servicio geológico de los Estados Unidos (Unites States Geological Survey, Earthexplorer, 2017), a través del sitio web de *Earth Explorer*. Los satélites Landsat 5 y Lansat 8 correspondientes para cada año, (Tabla 1).

**Tabla 1. Datos de las imágenes satelitales utilizadas en el análisis multitemporal de la microcuenca del río Escudilas**

Sensor	Path y Row	Fecha	ID
Landsat_5	P010R060	1996/07/24	LT05_L1TP_010060_1996 0724_20170103_01_T1
Landsat 8 OLI	P010R060	2017-01-23	LC80100602017023LGN0 0



*Fuente: USGS, 2017*

Seguido, se procesaron las imágenes en el programa Arc GIS 10.3, realizando una composición de bandas con la herramienta *composite bands*, para a continuación realizar un corte de la imagen total y trabajar con la imagen únicamente de la zona de estudio, este proceso se realizó con la herramienta *extract by mask*.

Las imágenes seleccionadas fueron procesadas en el Software, en el que primero se realizó una corrección geométrica, utilizando la herramienta *georeferencing*, ajustando las dos imágenes para que se encuentren con la misma referencia. La siguiente corrección fue la radiométrica, este paso se realizó convirtiendo la información del pixel que tiene niveles o números digitales (ND), a radiancia captada por el sensor, misma que fue realizada con la herramienta *Map algebra* aplicando la ecuación propuesta por (U.S. Geological Survey, 2017), señalada a continuación (Figura 8).

$$L\lambda = ML * Qcal + Al$$

Figura 8. Ecuación para corrección radiométrica

**Lλ:** Radiancia que llega al instrumento

**ML:** Pendiente o Gain Cantidad de conteo por unidad de cambio de radiancia

**Qcal:** cuantificación y calibración estándar del valor del pixel (DN)

**AL:** Constante, valor de conteo que corresponde a la respuesta del instrumento cuando la radiancia es cero.

**DN:** Contaje digital

Seguido se efectuó la corrección atmosférica para eliminar interferencias de la atmosfera, este proceso fue realizado con la herramienta *Map algebra* aplicando la ecuación propuesta por Chávez – DOS1 (Figura 9), señalada a continuación:

$$p_s = \frac{\pi * (L\lambda - L_p) * d^2}{T_v * T_z (E_{sun\lambda} * \text{SEN}(\theta_{se}))}$$

Figura 9. Ecuación para corrección atmosférica. Chávez – DOS1

VARIABLE	DESCRIPCION
$ps$	Reflectancia de la superficie
$L\lambda$	Radiancia espectral de entrada en el sensor
$d$	Distancia del SOL –Tierra (unidades astronómicas)
$ESUN\lambda$	Irradiancia espectral solar exoatmosférica
$\theta SE$	Ángulo de elevación del sol local. El ángulo de elevación del sol centro de la escena en grados se proporciona en los metadatos (SUN_ELEVATION).
$Lp$	Es el efecto bruma, en inglés path radiance
$Tv$	Es la transmitancia de la atmosfera en la dirección de visión
$TZ$	Es la transmitancia atmosférica en la dirección de iluminación
$Edown$	Es la irradiancia difusa descendiente, se considera igual a <b>cero</b> (Song. et al., 2001; Barnaby& Pellikka, 2003).

Con las imágenes procesadas, se realizó una clasificación supervisada, con la herramienta *reclassify*, tomando como apoyo las coordenadas de las diferentes clases de usos que se levantó en la salida de campo. Una vez definido el uso de suelo y cobertura vegetal para cada muestra satelital, se procedió a determinar los cambios multitemporales (Lozano & Villarroel, 2009), estableciendo las siguientes categorías: bosque Bn, cuerpo de agua C-A, Paramo Pr, agrosilvopastoril Asp y sin cobertura vegetal SC. Las imágenes clasificadas fueron vectorizadas para obtener polígonos en formato Shp. que permitieron calcular las diferentes áreas para cada tipo de uso del suelo.

### 3.2.4. Tasa de cambios de uso de suelo.

El cambio de uso de suelo fue cuantificado usando la ecuación propuesta por Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (1996), para calcular la tasa de cambio anual TDA (Figura 10):

$$TDA: Tasa = \left[ \frac{S_2}{S_1} \right]^{1/n} - 1$$

Figura 10. Tasa de Cambio Anual.

FAO, 1996

Dónde: TDA: tasa de cambio anual:  $S_2$  = superficie fecha 2,  $S_1$  = superficie en la fecha 1,  $n$  = es el número de años entre las dos fechas (Ruiz, Savé & Herrera, 2013).

### 3.2.5. Validación de proceso

La auditoría o validación se la realizó con la utilización de una fotografía aérea (ortofoto) de alta resolución del año 2015 proporcionada por el Gobierno Provincial de Imbabura. La validación corresponde al mecanismo para verificar que los resultados obtenidos en el cambio multitemporal del uso del suelo sean verídicos, la cual estableció la confiabilidad del proceso y los errores de omisión.

Se utilizó un diseño de muestreo geo estadístico, el cual empleó el cálculo del número de muestra con el valor de superficie en  $\text{km}^2$  y un valor de confianza, esto aplicando la *distribución t-student*, como lo señala Magen, (s/f) en (Diseño de muestreo geo estadístico, s/f). Para la obtención del número de muestra se considerando el total de hectáreas que son 82, con una confianza del 95% y se obtuvo el tamaño de la muestra correspondiente a 94 muestras para toda el área y para cada clases equivalente a 19 muestras.

Se realizó un buffer de 15 metros a cada punto de muestreo para la obtención de un área relacionada al tamaño del pixel de las imágenes Landsat, que es de 30 x 30 metros para poder establecer concordancia o no con la fotografía aérea.

La muestra aleatoria se la obtuvo mediante el uso de la herramienta automatizada *Create Random Points* del programa ArcGis considerando el número de puntos a crear y el tipo de capa que utilizará, considerando que la muestra sea heterogénea y bien distribuida en toda el área de validación. La extracción y clasificación de los puntos de muestreo, se realizó con la herramienta de ArcGis *Extract Values to Points* (Guzmán, 2014).

Los puntos de muestreo se superponen a la imagen de alta resolución para comenzar con la verificación de las clases bosque, cuerpo de agua, paramo, agrosilvopastoril y

sin cobertura vegetal. Para la tabulación de la verificación, se creó campos *add file* en la tabla de atributos como: cobertura procesamiento, cobertura GPI y validación.

Luego de tabular los puntos de verificación, se realizó el análisis de los datos mediante una “matriz de confusión”, la cual estableció la confiabilidad del mapa y los errores de omisión y comisión, y por último se aplicó el análisis empleando el “coeficiente Kappa”. Ministerio de ambiente Perú, 2014. Citado por (Guzmán, 2014).

		REFERENCIA RESULTADOS				
RESULTADO CLASIFICACIÓN	CLASE	BOSQUE	CULTIVOS	TOTAL	EXACTITUD USUARIO	ERROR COMISIÓN
		BOSQUE				
	CULTIVOS					
	OTROS					
	TOTAL					
	EXACTITUD					
	PRODUCTO					
	ERROR					
	OMISIÓN					

Tabla 2. Medidas de precisión de la matriz de confusión

**Exactitud del usuario.** Dato clasificado de manera correcta de una clase en relación al total de dicha clase en las filas.

$$\text{Exactitud del usuario} = \text{número de coincidencias} / \text{total.}$$

**Error de comisión.** Dato que demuestra la probabilidad en que el usuario del mapa encuentre información errónea durante la evaluación.

$$\text{Error de comisión} = 1 - \text{Exactitud del usuario.}$$

**Exactitud del productor.** Dato que indica el porcentaje de una clase clasificada correctamente en las columnas.

Exactitud del productor = número de coincidencias/total.

**Error de omisión.** Dato que representa el porcentaje en que el productor del mapa clasificó incorrectamente los atributos del terreno.

Error de omisión = 1 - Exactitud del productor.

### 3.2.6. Coeficiente Kappa.

El coeficiente estadístico propuesto por Jacob Cohen 1960, permite medir la similitud entre dos clases, verificando la concordancia de esta con una clasificación visual en campo o con imágenes de alta resolución, realizado por medio de la siguiente ecuación:

$$K = \frac{N \sum_{i=1}^r x_{ii} - \sum_{i=1}^r (x_{i+} \times x_{+i})}{N^2 - \sum_{i=1}^r (x_{i+} \times x_{+i})}$$

**Donde:**

N = Total de pixeles de la matriz

r = número de filas en la matriz

X<sub>ii</sub> = número de pixeles de la fila i, columna i (diagonal mayor)

El coeficiente Kappa puede variar entre 0 a 1, significando 1 una concordancia exacta entre los métodos de clasificación, y de acuerdo al valor el índice puede ser categorizado de la siguiente manera:

Para la interpretación del valor del coeficiente Kappa (K), se dispone de la siguiente escala (tabla 3).

<b>Coefficiente de Fuerza de kappa (K)</b>	<b>Fuerza de concordancia</b>
<b>0,00</b>	Pobre
0,01 – 0,20	Leve
0,21 - 0,40	Aceptable
0,41 - 0,60	Moderada
0,61 – 0,80	Casi considerable
0,81 – 1,00	Casi perfecta

*Tabla 3* Valoración del coeficiente Kappa

(Landis y Kotch, 1977)

### **3.2.7. Análisis escurrimiento superficial**

Para realizar el análisis de la microcuenca del río Escudillas, se seleccionó la estación meteorológica Pimampiro, si bien esta no está dentro de la microcuenca, pero es la más cercana a 7.3km, esta generó datos en lo que respecta a precipitación y temperatura. Los datos a utilizarse pertenecen al Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (Ecuador).

Para la estimación de la escorrentía, se analizó con relación a los siguientes factores de velocidad de infiltración: pendiente, velocidad de escurrimiento y vegetación; esto según la tabla de estimación del escurrimiento del Servicio de Conservación de Suelos de Estados Unidos (1964) cita por Torrico (2011). Se creó un mapa de acuerdo a la cobertura, textura (permeabilidad) y pendiente (del año de análisis) asumiendo que estos valores son constantes durante todo el año.

La tabla 4, obtenida del Soil Conservation Service de USA, es una tabla de niveles de escurrimiento en porcentajes correlacionando la información de permeabilidad, en relación a la presencia de vegetación y pendientes del terreno reclasificadas en porcentajes, esta tabla es usada a nivel mundial (Torrico, 2011)

**Tabla 4. Factores para la estimación del Escurrimiento Superficial. SCS USA 1964**

Cobertura Vegetal	Permeabilidad del Suelo	Pendiente del Terreno				
		Pronunciada	Alta	Media	Suave	Despreciable
		> 50%	> 25%	> 5%	> 1%	<1%
Sin vegetación (Zona urbana)	Impermeable	0,80	0,75	0,70	0,65	0,60
	Semipermeable	0,70	0,65	0,60	0,55	0,50
	Permeable	0,50	0,45	0,40	0,35	0,30
Cultivos	Impermeable	0,70	0,65	0,60	0,55	0,50
	Semipermeable	0,60	0,55	0,50	0,45	0,40
	Permeable	0,40	0,35	0,30	0,25	0,20
Vegetación – Pastos Agrosilvopastoril	Impermeable	0,65	0,60	0,55	0,50	0,45
	Semipermeable	0,55	0,50	0,45	0,40	0,35
	Permeable	0,35	0,30	0,25	0,20	0,15
Paramo	Impermeable	0,60	0,55	0,50	0,45	0,40
	Semipermeable	0,50	0,45	0,40	0,35	0,30
	Permeable	0,30	0,25	0,20	0,15	0,10
Bosque	Impermeable	0,55	0,50	0,45	0,40	0,35
	Semipermeable	0,45	0,40	0,35	0,30	0,25
	Permeable	0,25	0,20	0,15	0,10	0,05

Fuente: SCS USA 1964

Seguidamente los valores para la estimación del escurrimiento superficial fueron relacionados los tres mapas (mapa de pendientes, velocidad de infiltración, cobertura) para la creación de los mapas de coeficiente de escurrimiento.

Para realizar el cálculo de la escorrentía se obtuvo datos de precipitación, evapotranspiración e infiltración para poder aplicar las formula, seguido se utilizó el programa ArcMap con la herramienta algebra de mapas para relacionar las coberturas (raster). El valor en mm de la precipitación media de la micro cuenca se obtuvo realizando un proceso de interpolación de las estaciones Ibarra, San Gabriel, Pimampiro y San Vicente de Pusir, la interpolación permitió predecir los valores para las celdas de un ráster a partir de una cantidad limitada de puntos de datos.

Para el cálculo de la evapotranspiración media se realizó aplicando el método propuesto por Holdridge (1959), citado por (Vera & Jara, 2009), esta expresión es en función de la temperatura del aire comprendida entre los 0 °C y 30 °C, que fija el ritmo e intensidad de los procesos fisiológicos de las plantas y así, la tasa de evaporación directa del agua contenida en el suelo y en la vegetación. De esta manera se interpoló generando una superficie raster con los datos de temperatura de las estaciones Ibarra, San Gabriel y San Vicente de Pusir. La infiltración media fue determinada aplicando la fórmula  $I = P - (C_e \times P) - E_{tp}$ , propuesta en el método de Thornthwaite.

Con los valores de estas variables: precipitación, evapotranspiración e infiltración, se aplicó la fórmula para la Escorrentía  $E_s = P - E_{tp} - I$ , la escorrentía es un valor calculado en mm de la superficie de la microcuenca, es así que finalmente se obtiene el valor del caudal medio anual en  $m^3/s$ , multiplicando la escorrentía por el área de la microcuenca y dividiendo por el número de segundos al año.

### **3.2.8. Lineamientos de conservación**

Los recursos hídricos son importantes para el desarrollo de las actividades económicas. El uso intensivo de estos trae un mejor rendimiento a corto plazo, pero puede provocar pérdidas a largo plazo. Para revertir la degradación y aumentar los beneficios ecosistémicos, es necesario llevar a cabo intervenciones adecuadas en planificación y manejo de recursos (Bustamante & Ochoa, 2014).

La metodología empleada fue cualitativa (inductivo-deductivo), a través del análisis en relación a los resultados. Con el apoyo de un equipo técnico de investigadores se estableció los lineamientos de conservación, en base al procesamiento y análisis de la información sobre los recursos naturales de la zona de la microcuenca.



## CAPÍTULO IV.

### ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

La microcuenca del río Escudillas pertenece a la unidad hidrográfica de la cuenca del río Mira, esta cuenca posee un sistema agro productivo muy extenso, ya que administrativamente pertenece a las provincias de Imbabura, Carchi y Esmeraldas (Mapa 3). El área de la cuenca es de aproximadamente 5000 km<sup>2</sup>. El principal afluente de la cuenca del Mira es la subcuenca del río Chota, que fluye en dirección sureste a noroeste, por el sur se encuentran el río Mataquí y Escudillas y al oeste el río Ambi (Tabla 5).

CUENCA	SUBCUENCA	MICROCUENCA
<b>Río Mira</b>	<b>Río Ambi</b>	Q. Ilumá
		R. Ambi
		Q. Quitumbe – Cariyacu
		Q. San Francisco – Yanayacu
		R. Pichaví
		R. Blanco – Pastaví
		R. Tejar
		R. Jatunyacy – L. San Pablo
	<b>Río Chota</b>	R. Blanco
		R. Pisque
		R. Chamacán
		R. Escudillas
		Q. Chayguayacu
		R. Mataqui
		Q. Huambi
		R. Chota

Tabla 5. Subcuencas hidrográficas de la cuenca alta del río Mira.

Fuente: Almeida, (2014)

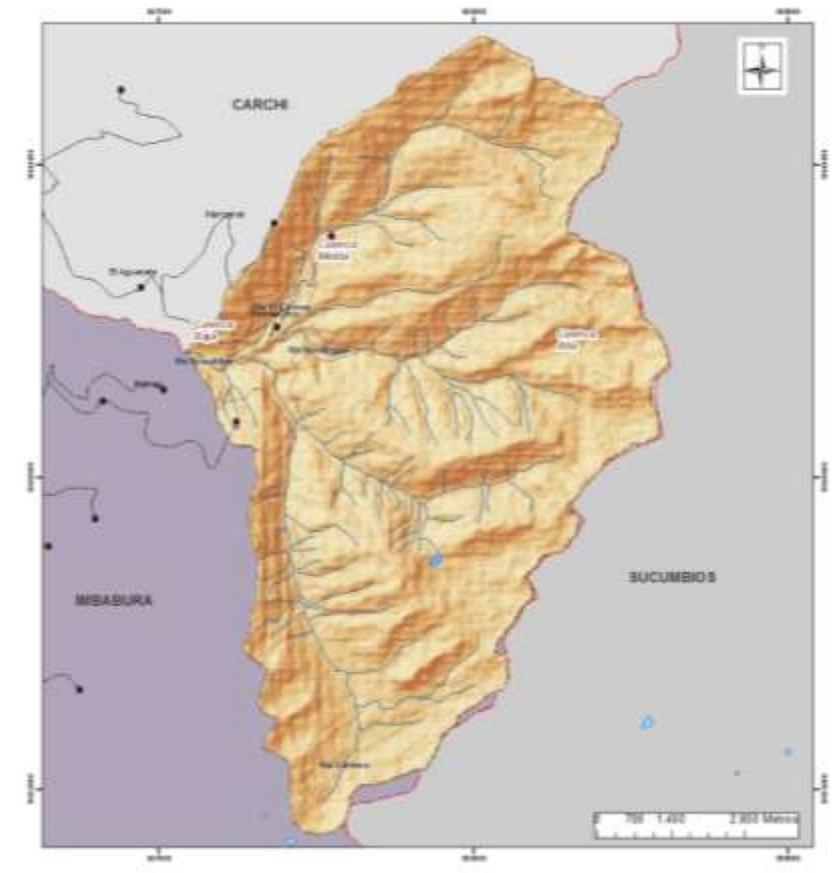
Lloré & Rodríguez (2005), señalan que el río Mataquí posee una cuenca muy abrupta, lo que hace que sean áreas con poco desarrollo. Por el norte se tiene a los ríos Chota y El Angel, el río Chota cubre la esquina nororiental de la cuenca del Mira; su recorrido es en sentido suroeste y por su ubicación forma una planicie ondulada.



Mapa 3. Mapa base de la microcuenca del río Mira

#### 4.1. Información base

Una vez definidos y analizados los elementos de estudios para el análisis multitemporal de cambio de uso de suelo, se procede con el análisis de la microcuenca del río Escudillas, elaborando el Mapa base (Mapa 4) de la zona y seguido se procesó la información correspondiente obteniendo la información que se detalla a continuación.



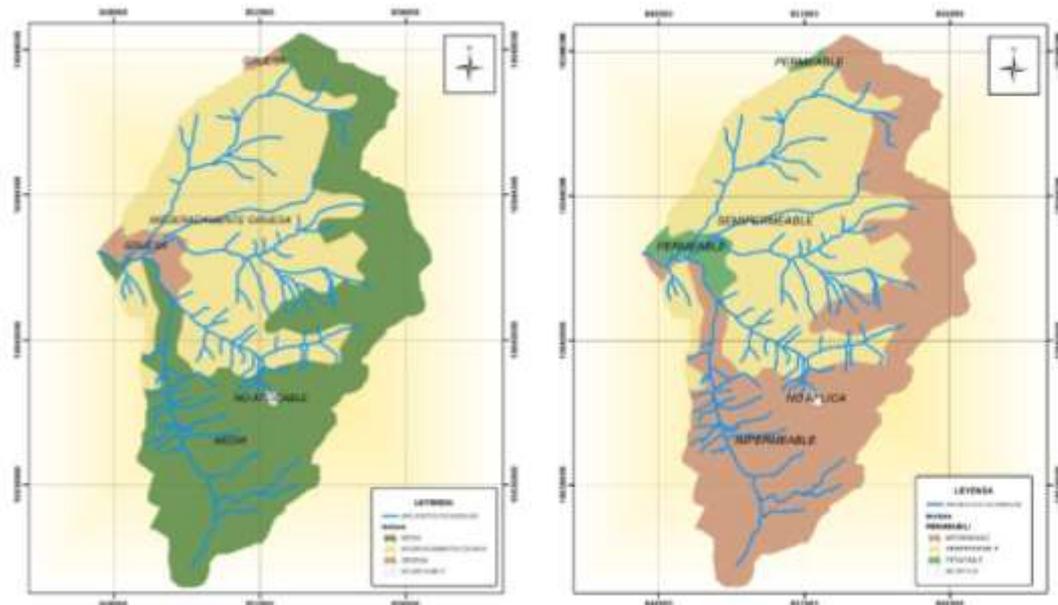
Mapa 4. Mapa base de la zona de estudio de la microcuenca del río Escudillas

La microcuenca se caracteriza por ser una zona con un relieve muy abrupto, con curvas de nivel desde los 2000 a 3800 msnm. La cuenca baja se caracteriza por ser una zona dedicada a la agricultura y donde se puede visualizar la zona urbana, esta se extiende hasta los 2500msnm. La cuenca media se extiende hasta los 3000msnm y está caracterizada por ser una zona dedica a la agricultura y pastoreo de ganado. La cuenca alta se caracteriza por ser un área boscosa y de paramo se extiende desde los 3000 a 3800 msnm.

#### 4.1.1. Tipo de suelo

Los tipos de suelos permitieron realizar el análisis de escorrentía de la zona, la información base fue proporcionada por SIGAGRO, 2003. En el mapeo de suelos, en relación a su textura se obtuvo que el área predominante es la correspondiente a la

textura media con 4266 hectáreas, seguida de la textura moderadamente gruesa correspondiente a 3665 hectáreas y finalmente con textura gruesa 250 hectáreas, la distribución de las texturas se encuentra en el (Mapa 5).



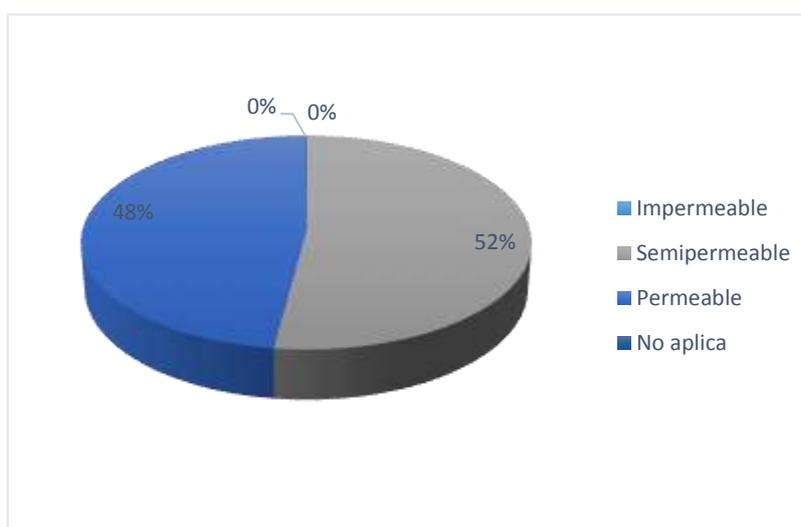
Mapa 5. Textura de suelos de la microcuenca del río Escudilla

La clasificación de textura permitió encontrar el coeficiente de escurrimiento con relación a la permeabilidad, es así que para este análisis se obtiene que el 52% de los suelos presentan textura mediana con características semipermeables, seguido por 44,71% y 3,24% de características permeables correspondientes a las texturas moderadamente gruesa y gruesa, el detalle se obtiene la (Tabla 6).

Tabla 6. Textura de suelos del río Escudillas

TEXTURA GENERAL	CLASE TEXTURAL	PERMEABILIDAD	SUPERFICIE (HA)	PORCENTAJE
Fina	Arcillosos		0	0,00
Moderadamente fina	Franco limoso arcilloso	Impermeable	0	0,00

<b>Mediana</b>	Limos, Francos limoso	Semipermeable	4266,62	52,07
<b>Moderadamente gruesa</b>	Franco arenoso		3665,42	47,8
<b>Gruesa</b>	Arenoso	Permeable	250,68	
<b>No aplica textura</b>			10,59	0,13
<b>TOTAL</b>			8193,3	100

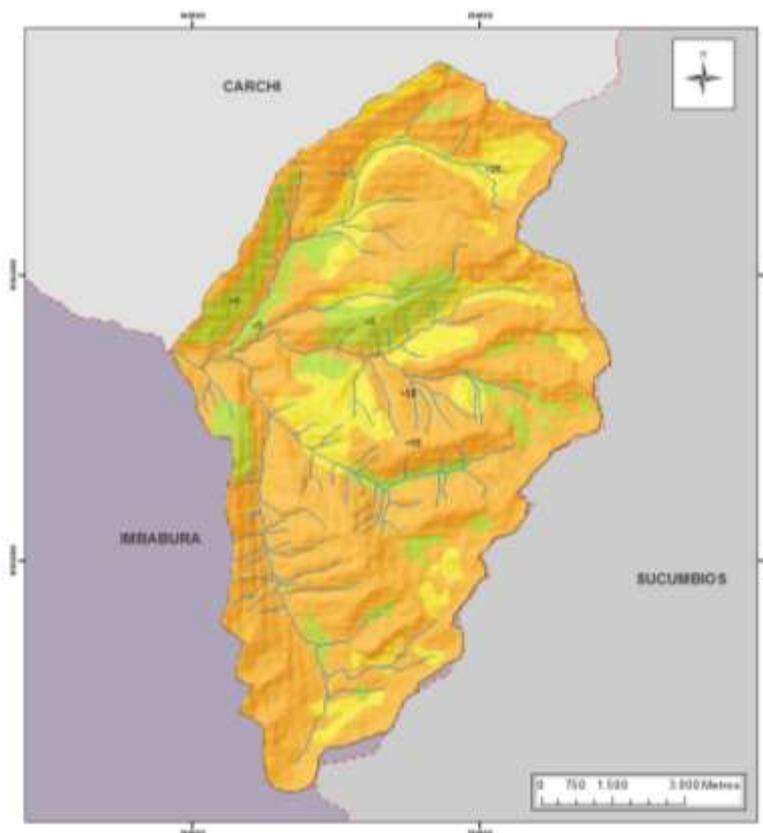


**Fuente:** FAO, 2009

\*\*Existe un polígono de 10,59 ha el cual no aplica textura que corresponde a la zona de la Laguna.

#### 4.1.2. Pendiente

Las pendientes que existen en la microcuenca es importante señalarlas, ya que, al analizar la relación de escorrentía, uno de los factores que influye es la pendiente. Con apoyo de la información base proporcionada por SIGAGRO 2003, se obtuvo de acuerdo al mapeo, que el relieve montañoso con pendientes >70% ocupan la mayor extensión con 4546 ha, su correspondiente distribución se encuentra en el (Mapa 6).

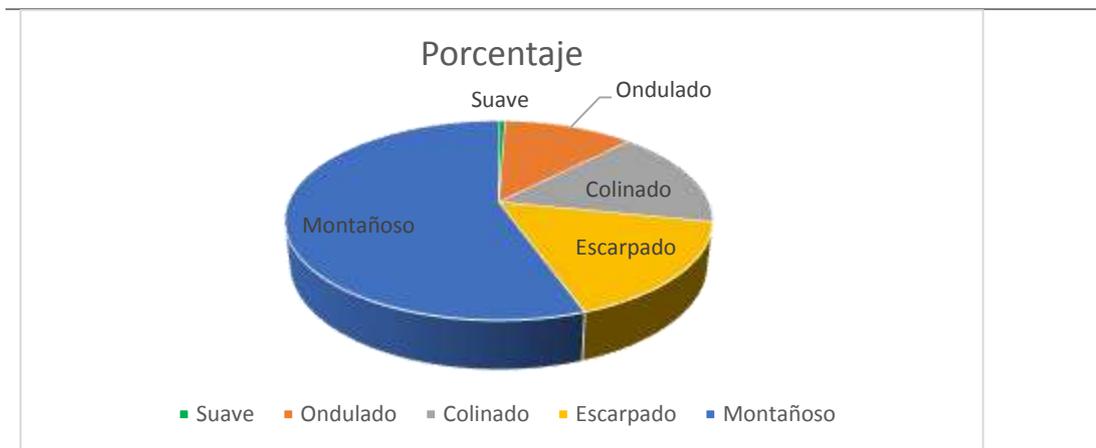


Mapa 6. Mapa de pendientes de la microcuenca del río Escudillas

Este análisis ha permitido tener una visión de la zona, esto en referencia al relieve principal que caracteriza el área de estudio, definiéndose con más del 50% del área de la micro cuenca por ser un área escarpada - montañosa y el área menos significativa la correspondiente a relieve suave – ondulado con 13,34%. Este panorama da una visión clara de las condiciones geomorfológicas de la zona, caracterizadas por ser una zona de elevaciones y relieves bruscos (Tabla 7).

**Tabla 7. Pendientes de la microcuenca del río Escudillas**

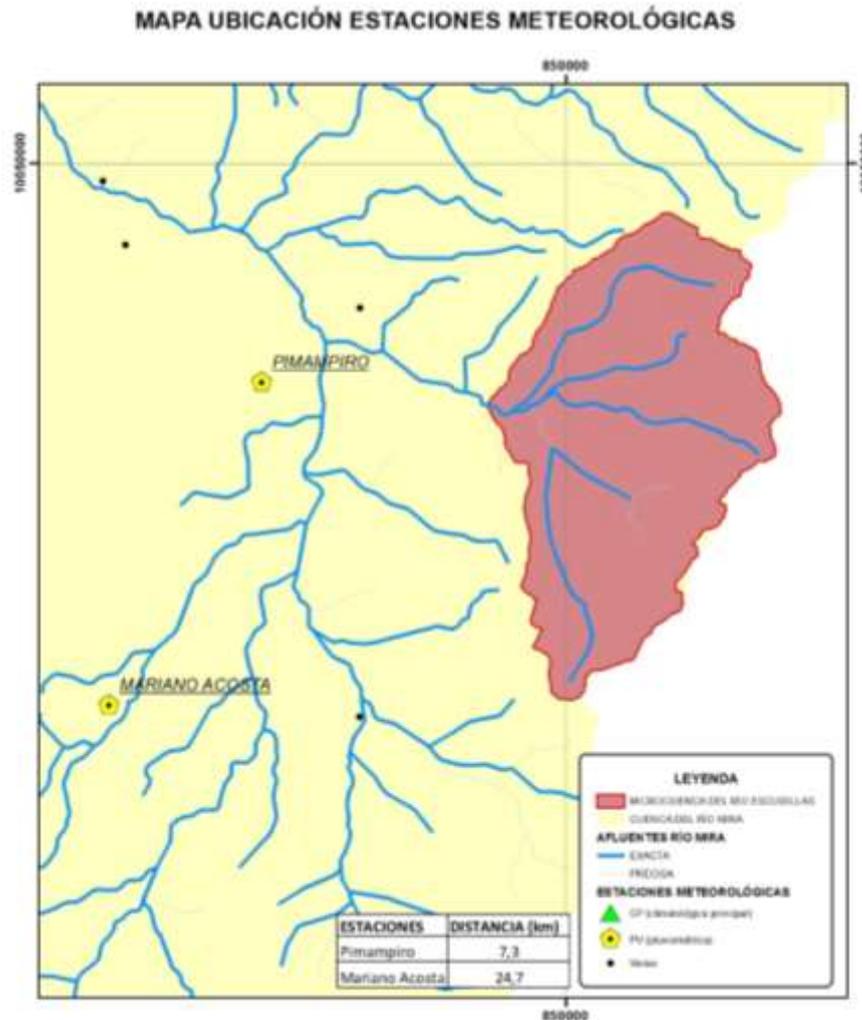
RELIEVE	GRADO PENDIENTE	SUPERFICIE (HA)	PORCENTAJE
<b>Suave – Ondulado</b>	> 5	1012,6	12,34
<b>Colinado</b>	> 25	1296,66	15,83
<b>Escarpado Montañoso</b>	- > 50	5883,97	71,81
<b>TOTAL</b>		8193,23	100



**Fuente:** SIGARO, 2013.

### 4.1.3. Tiempo

En lo concerniente al análisis del tiempo, tiene especial importancia el estudio del agua atmosférica en sus tres formas; gaseosa, líquida y sólida; se analizó lo correspondiente a precipitación, temperatura y evapotranspiración. De acuerdo a la ubicación geográfica, existen condiciones climáticas específicas, datos que se obtuvieron de la estación meteorológica Pimampiro M315 – 2090msnm, que presentan altitud dentro de los rangos de la zona de estudio. La información corresponde a los respectivos anuarios meteorológicos de los años 1991 al 2015.



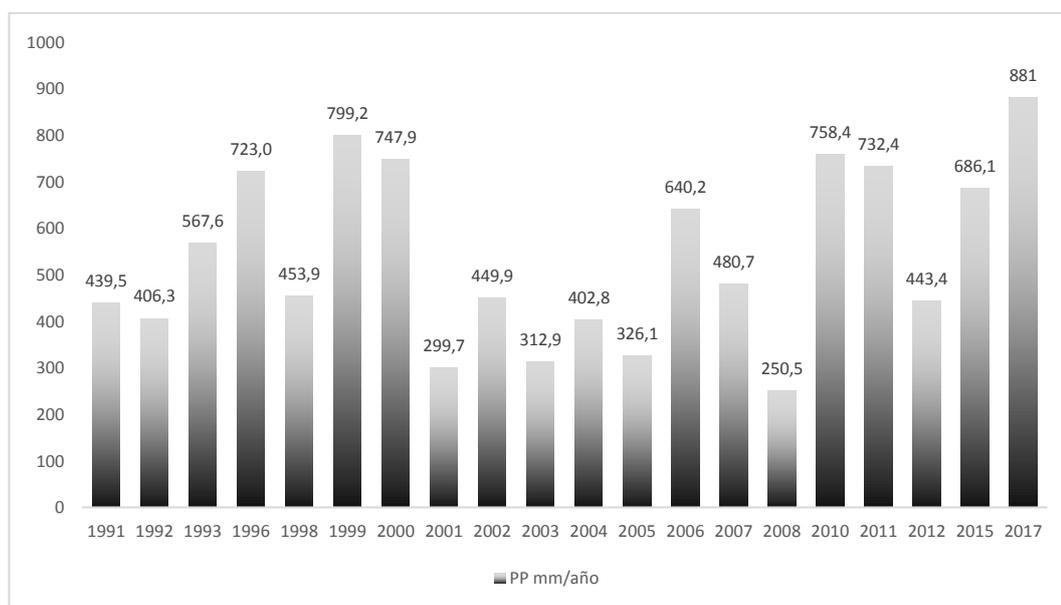
*Mapa 7. Estaciones meteorológicas*

Los datos obtenidos en la estación Pimampiro refleja que en el intervalo de 25 años la precipitación ha sido muy variable, existiendo dos años que marcan notoriamente los escasos de lluvias, estos son 2001 y 2008. Mientras que los picos que se puede observar en el diagrama, con valores muy altos pertenecen a los años 1999 y 2010, los lapsos de cambio son abruptos y se detalla en la (Tabla 8). Lo que permitió asumir que la precipitación relacionada a la microcuenca del río escudillas no ha decrecido en el paso del tiempo, por lo que el posible desabastecimiento de agua no se podría deber a este factor.

Según el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología, el año 2001 presentó una distribución irregular de la precipitación, con un claro predominio de valores inferiores

a las normales, en la mayoría de estaciones de la zona interandina los decrementos son inferiores al 50%. Los fenómenos del niño según la Secretaria de Riesgos fueron registrados en los años 1997 y 2017, en términos generales estos datos permiten tener una apreciación de la variación de precipitaciones presentadas.

**Tabla 8. Análisis anual de precipitación estación meteorológica Pimampiro M315**



**Código: M315**

**PIMAMPIRO**

**IMBABURA**

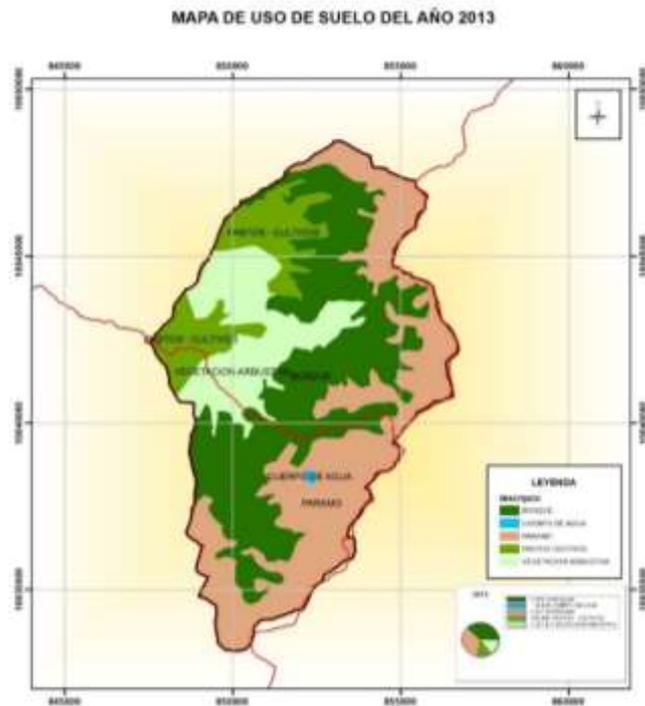
2090 msnm

**PV**

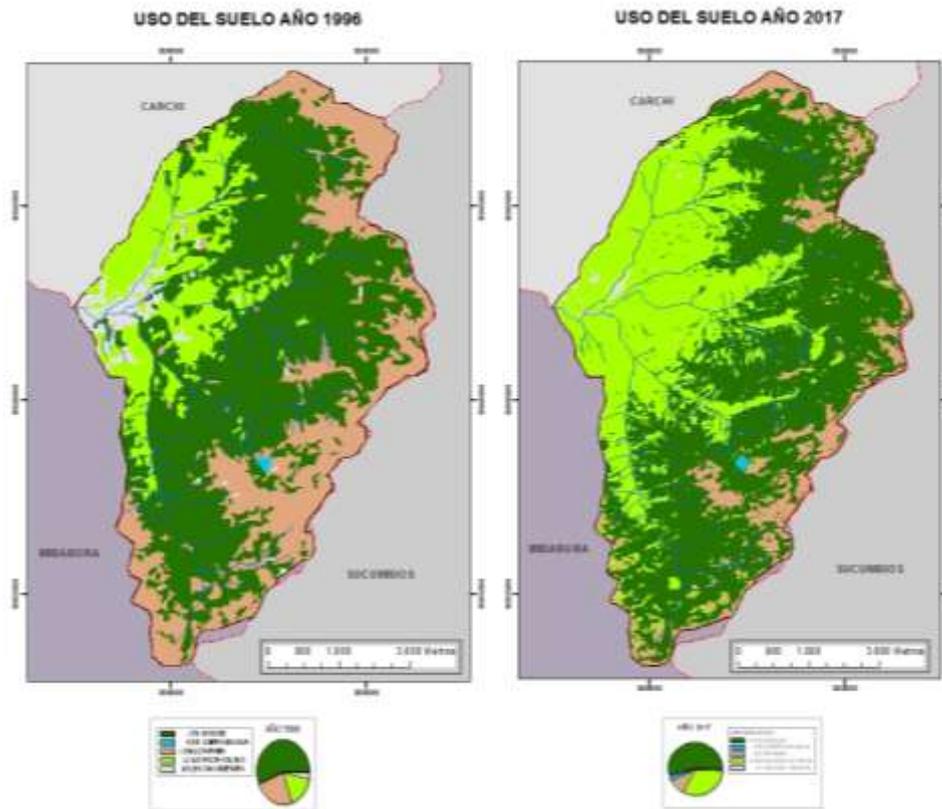
**Fuente:** Anuarios meteorológicos Inamhi, 2017.

#### **4.2. Uso del suelo y cobertura vegetal**

Se elaboró los mapas de usos de suelo y cobertura vegetal de la zona de estudio con la información proporcionada por SIGAGRO para el año 2003. La primera visión determina que las áreas predominantes son bosques y paramos con aproximadamente el 70% del área total de la microcuenca, mientras el 30% pertenece a la zona de pastizales-cultivos-vegetación (Mapa 8). Dando una primera imagen del panorama de la microcuenca del río Escudillas, que esta podría ser una zona potencial de recarga hídrica.



Se realizó el tratamiento de las imágenes satelitales de los años 1996 y 2017, así se obtuvo el uso de suelo para estos años respectivamente. A partir de esta clasificación supervisada, se pudo concretar que las coberturas si han cambiado en el tiempo, siendo el más predominante el aumento del área de agrosilvopastoril (Mapa 9).



Mapa 9. De uso y cobertura vegetal 1996 – 2017

### 4.3. Tasa de cambio anual

El análisis de la Tasa de Cambio Anual (TDA) permitió visualizar que el principal cambio reflejado fue el de la Cobertura agrosilvopastoril, existiendo un incremento de la superficie para el año 2017, mientras que para las clases bosque, paramo y sin cobertura vegetal ha existido una pérdida de superficie para la fecha reciente (Tabla 9).

Tabla 9. Cobertura del suelo y tasa de cambio (TDA) en el período 1996 –2017.

Cobertura	Superficie 1996	Superficie 2017 (ha)	TDA
Sin cobertura vegetal	269,5	61,35	-1,00
Agrosilvopastori	1340,9	2874,3	8991864,17

Bosque	4592,0	4425,18	-0,43
Paramo	1980,62	822,18	-1,00
Cuerpo de agua	10,00	10,00	0,00
<b>Total</b>	8193,02	8193,01	

Valores por debajo de cero, corresponden a categorías que están perdiendo superficie y los de arriba de cero, los que están ganando.

#### 4.4. Análisis multitemporal

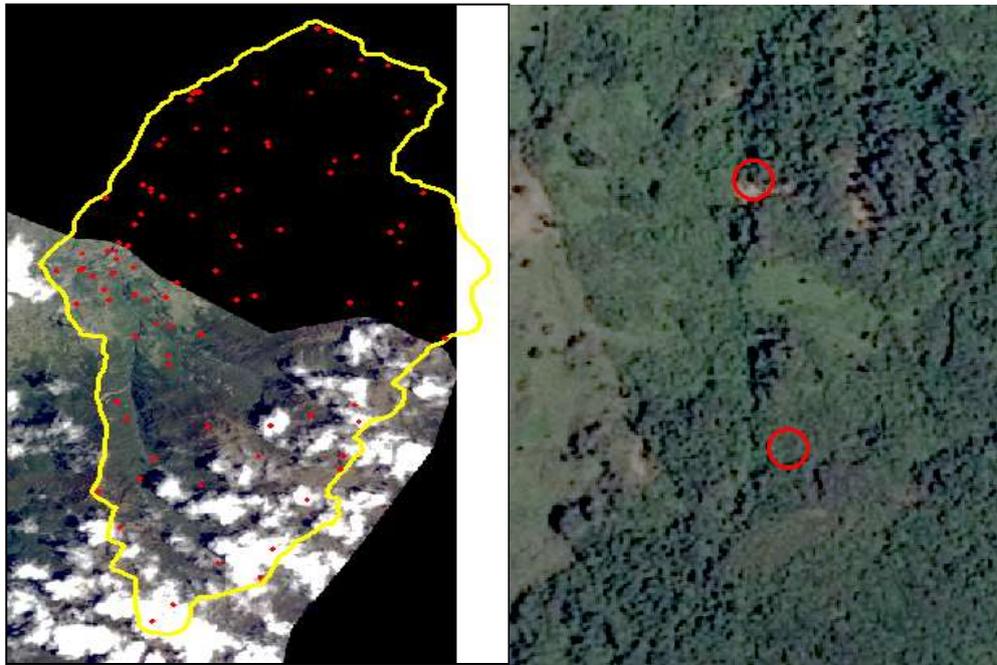
Para el período evaluado 1996 – 2017, la microcuenca presenta intervención, uno de los valores analizados es la deforestación, equivalente al 2,04% del área total, la cual fue reducida en la clase correspondiente a bosque. La clase agrosilvopastoril ha incrementado representativamente, con un aumento de 18% del área total de la microcuenca y que se extiende desde la cuenca baja hasta la media, esto podría deberse al crecimiento agropecuario que se observó en el uso de suelo del 2017 y a la presión del avance de frontera agrícola que este ejerce (Tabla 10).

**Tabla 10. Multitemporal de cambio de uso de suelo en el periodo 1996-2007, para la microcuenca del río Escudillas**

<b>CAMBIOS DE COBERTURA VEGETAL 1996 - 2017</b>		
<b>Tipo de intervención</b>	<b>Perdida área (ha)</b>	<b>Deforestación</b>
Sin cobertura vegetal	208,15	
Agrosilvopastoril	+1533,4	
Bosque	166,82	2,04%
Paramo	1158,44	
Cuerpo de agua	0	
<b>+ ha ganado área</b>		

#### 4.4.1. Validación de resultados

La matriz de confusión constituye una comparación entre dos clasificaciones, una de ellas es la elaborada por el autor y la otra la que sirve de apoyo para la evaluación, se comparó los valores para las clases asignadas con los puntos ubicados en todo el mapa (95) (Figura 11), para verificar si existe concordancia éntrelos datos (Santos, 2007), citado por Guzmán, (2014). Es importante señalar que de los 95 puntos el 50% fue valido debido a que no se obtuvo la fotografía aérea de la provincia del Carchi.



*Figura 11. Localización de la fotografía aérea y visualización de los puntos de inspección (bosque), en la microcuenca del río escudillas*

La validación permitió verificar que el trabajo realizado por el software y la información levantada en campo es correcta, para esto se tiene los datos comparativos de las clases bosque, cultivos, sin cobertura, paramo y agua (Tabla 11), lo que permitió obtener un coeficiente de Kappa promedio de 0,69% equivalente a una fuerza de concordancia **CONSIDERABLE**, dando validez al trabajo realizado.

**Tabla 11. Matiz de Confusión para la verificación de los cinco clasificaciones**

REFERENCIA RESULTADOS BOSQUE - CULTIVOS						
RESULTADOS DE CLASIFICACIÓN	CLASE	BOSQUE	CULTIVOS	TOTAL	EXACTITUD	ERROR
					USUARIO	COMISIÓN
	BOSQUE	5	0	5	1,00	0,00
	CULTIVOS	2	6	8	0,75	0,25
	OTROS	6	4	10		
	TOTAL	13	10	<b>23</b>		
	EXACTITUD	0,385	0,600			
	PRODUCTO					
	ERROR	0,615	0,400			
	OMISIÓN					

REFERENCIA RESULTADOS SIN COBERTURA -CULTIVOS						
RESULTADOS DE CLASIFICACIÓN	CLASE	SIN COB	CULTIVOS	TOTAL	EXACTITUD	ERROR
					USUARIO	COMISIÓN
	SIN COB	8	1	9	0,8889	0,111
	CULTIVOS	0	6	6	1,0000	0,000
	OTROS	0	3	3		
	TOTAL	8	10	<b>18</b>		
	EXACTITUD	1,000	0,600			
	PRODUCTO					
	ERROR	0,000	0,400			
	OMISIÓN					

**REFERENCIA RESULTADOS PARAMO - CULTIVOS**

RESULTADOS DE CLASIFICACIÓN

CLASE	PARAMO	CULTIVOS	TOTAL	EXACTITUD	ERROR
				USUARIO	COMISIÓN
PARAMO	6	0	6	1,0000	0,000
CULTIVOS	0	6	6	1,0000	0,000
OTROS	0	4	4		
<b>TOTAL</b>	<b>6</b>	<b>10</b>	<b>16</b>		
EXACTITUD	1,000	0,600			
PRODUCTO					
ERROR	0,000	0,400			
OMISIÓN					

**REFERENCIA RESULTADOS AGUA – CULTIVOS**

RESULTADOS DE CLASIFICACIÓN

CLASE	AGUA	CULTIVOS	TOTAL	EXACTITUD	ERROR
				USUARIO	COMISIÓN
AGUA	1	3	4	0,2500	0,750
CULTIVOS	0	6	6	1,0000	0,000
OTROS	0	1	1		
<b>TOTAL</b>	<b>1</b>	<b>10</b>	<b>11</b>		
EXACTITUD	1,000	0,600			
PRODUCTO					
ERROR	0,000	0,400			
OMISIÓN					

**MEDIDAS DE PRECISIÓN BOSQUE – CULTIVOS**

FIABILIDAD GLOBAL	47,64%
FIABILIDAD USUARIO PARA CLASE CULTIVO	100,00%
FIABILIDAD DEL PRODUCTO PARA CLASE CULTIVO	38,46%
ERRORES POR COMISION CLASE CULTIVO	0,00%
ERRORES POR OMISION CLASE CULTIVO	61,54%
FIABILIDAD DEL USUARIO CLASE BOSQUE	75,00%

FIABILIDAD DEL PRODUCTO PARA CLASE BOSQUE	60,00%
ERRORES POR COMISION CLASE BOSQUE	25,00%
ERRORES POR OMISION CLASE BOSQUE	40,00%

### COEFICIENTE KAPPA

$$K = \frac{N \sum_{i=1}^r x_{ii} - \sum_{i=1}^r (x_{i+} \times x_{+i})}{N^2 - \sum_{i=1}^r (x_{i+} \times x_{+i})}$$

**K** = 0,48 (Bosque – cultivo)

**K** = 0,77 (Sin cobertura – cultivo)

**K** = 0,74 (Paramo – cultivo)

**K** = 0,61 (cultivo - cuerpo de agua)

**K** (promedio) = **0,65**

#### 4.4.2. Percepciones sobre cambio de uso de suelo

Para correlacionar la información obtenida en los sistemas de información geográfica, se seleccionaron siete actores sociales que representan a: GAD Parroquial Monte Olivo y Chuga, Junta de aguas de riego canal San Rafael, agricultores de las parroquias Chuga y El Manzanal y proveedor de suministros; dentro de la microcuenca del río Escudillas, mismo que aportaran con información cualitativa sobre los cambios suscitados en los últimos quince años.

**Análisis del abastecimiento de agua.** El 86 % de la población señala que si se ha reducido el abastecimiento del agua, para la provisión en riego, mismo que ha generado malestar en los agricultores.

**Cambios en las coberturas del suelo.** El 100% de la población señala que si se ha observado cambios en las coberturas de uso del suelo, el principal es el cambio de pastizales a cultivos, y, otro de los cambios que señalan todos los entrevistados es que

la gente dedicada a la agricultura ha decidido optar por cambiar los cultivos de ciclo corto y cultivos perennes, como frutales.

El 57% de la población señala que las actividades de desarrollo económico de la población han ocasionado daños, estos debidos principalmente a la agricultura. La necesidad económica es un factor que influye en este resultado.

**Medidas necesarias a implementarse para la conservación de la cuenca.** La principal medida señala por los actores sociales, es la de implementación de tecnología en riego para la optimización del caudal hídrico, el siguiente lineamiento que en orden consecutivos fue sugerido, es que se declare a la cuenca alta como área de conservación. Otra medida señalada, es la reforestación con especies nativas y que podrían enfocarse en los puntos de captación de agua o recarga hídrica. Finalmente se expuso como alternativa, dar un mantenimiento adecuado a los canales de conducción de agua de riego, para evitar pérdidas y fugas de este recurso.

#### **4.5. Análisis de escurrimiento**

El Coeficiente de Escorrentía es uno de los parámetros fundamentales de la hidrología superficial, así lo señala el grupo de ingenieros civiles en su post, pues representa la porción de la precipitación que se convierte en caudal, es decir, la relación entre el volumen de escorrentía superficial y el de precipitación total sobre un área (cuenca) determinada.

Para la microcuenca del río Escudillas se verifico todos los aportes hídricos dentro de la microcuenca, que se encuentran distribuidos en toda el área, así los principales aportes son: Quebrada San Agustín, el río San Miguel y la quebrada Espejo.

El cálculo del coeficiente de escorrentía permitió determinar en qué zona de la micro cuenca tendremos mayor o menor acumulación de caudal superficial, de acuerdo a la información cartográfica proporcionada por SIGAGRO 2003, se ha realizado un algebra de mapas entre cobertura vegetal, permeabilidad (textura del suelo) y

pendientes. De esta manera se obtuvo los coeficientes de escorrentía para cada polígono con sus respectivas características (Torrice, 2011). Con la obtención de los datos Ce, se obtuvo que los coeficientes de escorrentía para cada año varían de 0,545 a 0,394 para 1996 y 2017 respectivamente (Tabla 12).

**Tabla 12. Coeficiente de escorrentía ponderado en la microcuenca del río Escudillas**

	<b>1996</b>	<b>2017</b>
<b>Ce</b>	0,545	0,394

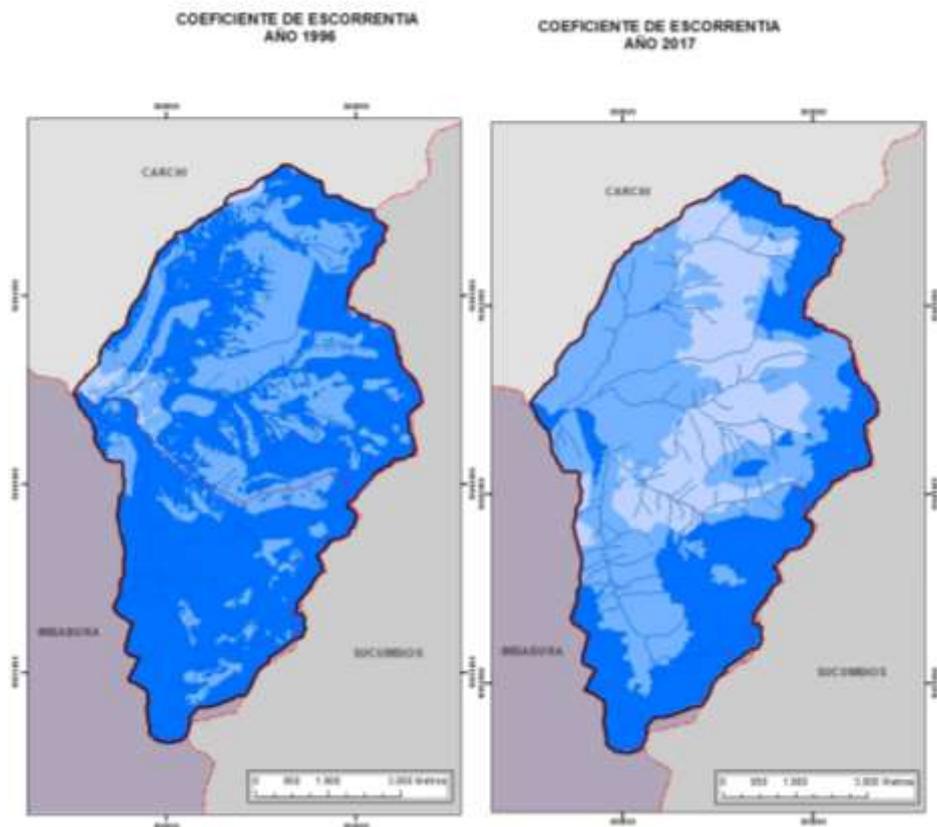
En relación a los datos de precipitación, evapotranspiración e infiltración media obtenidos de los raster correspondientes, se obtuvo que para el año 1996, se convirtió en escorrentía 684mm, de los cuales 17,79 m<sup>3</sup>/s se convirtieron en caudal. Para el año 2017, el flujo convertido en caudal fue de 10,05 m<sup>3</sup>/s, lo que permite llegar a concluir que el caudal si redujo en el paso de 20 años, considerando que la precipitación también ha disminuido (Tabla 13).

**Tabla 13. Coeficiente de escorrentía en relación al flujo superficial convertido en la microcuenca del río Escudillas**

<b><u>AÑO</u></b>	<b><i>Precipitación</i></b> <i>Medio anual</i> <i>(mm)</i>	<b><i>Evapotranspiración</i></b> <i>Medio anual</i> <i>(mm)</i>	<b><i>Infiltración</i></b> <i>Medio anual</i> <i>(mm)</i>	<b><i>Escorrentía</i></b> <i>Medio anual</i> <i>(mm)</i>	<b><i>Caudal</i></b> <i>m<sup>3</sup>/s</i>
<b>1996</b>	1256,08	548,93	22,54	684,61	17,79
<b>2017</b>	981,60	567,61	27,21	386,78	10,05

Al relacionar el cambio de uso de suelo con el porcentaje de escorrentía, para los años 1996 – 2017 se pudo verificar que el cambio de uso de suelo si representa ser un factor influyente en la escorrentía para el caso de Escudillas (Mapa 10), esto también se debe a que el cambio multitemporal presento cambios en la cobertura vegetal, aunque no haya presentado cambios muy perjudiciales como erosión o deforestación. El

porcentaje del flujo convertido en caudal para las dos fechas representa el 48% de variación, siendo mayor el caudal el del año 2017.



Mapa 10. Análisis escorrentía 1996 – 2017

#### 4.6. Lineamientos de conservación

Para la propuesta de lineamientos de conservación del recurso hídrico, se definió a partir de la reunión del equipo técnico. De acuerdo a las estratégicas que deben ser consideradas, se encuentran las señaladas por la SENPLADES (2011) para cada sistema. Considerando que los resultados obtenidos muestran afectaciones leves sobre deforestación y cambio de uso de suelo para áreas agropecuarias, se hace hincapié en proponer medidas que reduzcan las afectaciones de estas actividades, enfocándose en los lineamientos de los sistemas: ecológicos ambiental, asentamientos humanos y económico (Tabla 14).

**Tabla 14. Estrategias y temáticas de cada sistema, para la conservación de los recursos hídricos de la microcuenca del río Escudillas.**

<b>SISTEMA</b>	<b>ESTRATEGIAS</b>	<b>TEMÁTICAS</b>
Ecológico ambiental	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ampliar en forma eficiente el conocimiento del sistema ecológico ambiental.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Reforestación y/o restauración en la cuenca media y alta con especies nativas,</li> <li>▪ Uso técnicas agrícolas de conservación de suelos,</li> <li>▪ Prevención de la deforestación de especies nativas</li> </ul>
Asentamientos humanos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fortalecer la gestión de la Secretaría de Riesgo en la disminución de vulnerabilidades.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Aplicar medidas de disminución de riesgos por inundaciones y deslaves.</li> </ul>
Económico	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Implementar prácticas y tecnológicas para una adecuada agricultura.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Implementar proyectos de uso de tecnología en riegos para aprovechamiento de agua,</li> <li>▪ Uso de prácticas agrícolas de conservación de suelos.</li> </ul>

Esta propuesta servirá como instrumento para la conservación de los recursos hídricos, para los actores sociales identificados y para toda la población de la microcuenca del río Escudillas que desee ejecutar proyectos, teniendo una línea de referencia en temáticas prioritarias.

#### **4.6.1. Objetivo de la propuesta de lineamiento de conservación**

Planificar el uso adecuado del suelo de la microcuenca del río Escudillas, para asegurar el abastecimiento de agua a la población.

#### **4.6.2. Descripción de las temáticas propuestas**

A continuación, se presenta la descripción de las alternativas a propuestas para lineamientos de conservación, de acuerdo a cada sistema.

#### **4.6.3. Sistema ecológico ambiental**

- **Reforestación y/o restauración en cuenca media y alta con especies nativas**

La implementación de prácticas como la restauración de superficies degradadas, contribuirá para una adecuada calidad ambiental. La aplicación de esta temática permitirá remediar el cambio encontrado sobre deforestación y erosión de suelos, al realizar estas prácticas están logrando que no exista escurriendo del agua lluvia y el agua acumulada en el sub suelo aumente, evitando deslaves.

Un de las técnicas que se utiliza es la Forestería Análoga (FA), esta es una manera más efectiva, ecológica, social, económica y culturalmente apropiada para rehabilitar los bosques y la biodiversidad, ya que reduce el riesgo de la dependencia de una sola especie, o monocultivos, propiciando el desarrollo comunitario. Este sistema tiene implícito un componente educativo que permite mejorar habilidades, conocimiento, y entrenamiento técnico para reforzar y enfatizar los nexos entre aspectos socio-culturales y socio-económicos, y la restauración de la biodiversidad y el manejo ambiental sostenible (Suárez & Pacheco, 2014).

- **Uso técnicas agrícolas de conservación de suelos**

Entre las alternativas para evitar el desgaste de los suelos en las áreas dedicadas a la agricultura Núñez (2000) propone las siguientes: diques, barreras de contención de suelos, zanjas de desagüe, desviación - absorción, terrazas y andenes o bancales. La intención principal de la aplicación de estas técnicas es mantener el suelo biológicamente estable, en equilibrio y sano, lo cual permitirá obtener un cultivo de calidad.

El manejo ecológico de suelos requiere una labranza más meticulosa, ya que es necesario escoger las técnicas apropiadas para cada producción y ecosistema, las alternativas propuesta por Núñez (2000) son:

- Después de la cosecha del cultivo, dejar los residuos en el mismo terreno para su descomposición. Esto permite que se dé un significativo reciclaje de nutrientes.
- Al inicio de la temporada de siembra, los residuos se cortan incorporándolos.
- Se hacen surcos entre cinco y diez metros entre sí y se incorporan hierbas, rastrojos cortados o humus con tierra. En los surcos se pueden agregar semillas para la cosecha.
- Incorporar humus al suelo.

El agregado de materia orgánica es otra medida importante para la conservación de suelos y para el desarrollo adecuado de las plantas, entre los abonos orgánicos Núñez (2000) señala: el compost, humus de lombriz, estiércoles, las coberturas, abonos verdes, cultivos organopónicos.

- **Prevención de la deforestación de especies nativas**

Una de las alternativas propuesta por Jorge y Bastienne (2001), para la reducción de la contaminación, es que se aumenten las fuentes de captura de carbono, a través de la creación y mantenimiento de bosques.

Según el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (2008), de Colombia, una estrategia es la implementación de políticas públicas para reducir la deforestación y mantener los servicios ambientales que proveen los bosques, entre ellos la conservación de la biodiversidad y de las fuentes hídricas. Para esta propuesta la política combina la prohibición del cambio de uso del suelo a través de la regulación directa y el fomento a las actividades sustentables de aprovechamiento forestal. Entre los instrumentos propuestos por el autor están:

- Declaración de áreas protegidas con restricción al uso de suelo incorporando planes de manejo,
- Exigencia de presentar estudios de impacto para cualquier proyecto productivo que implique cambio de uso de suelo o genere impacto negativo ambiental.
- Exigir a toda actividad de extracción forestal los permisos ambientales respectivos y contar con un programa de aprovechamiento.

El incentivo al adecuado aprovechamiento, es una estrategia diferente, ya que el bosque genera ingresos frecuentes a sus propietarios, lo que genera que ellos quieran conservarlos de manera voluntaria. En el Ecuador existe las iniciativas de los programas: Socio Bosque el cual tiene por objetivo estratégico *“Lograr la conservación de las áreas de bosques nativos, páramos y otras formaciones vegetales nativas del Ecuador (...) los mecanismos de implementación la entrega directa de un incentivo por parte del Estado, (...) y que será condicionada a la conservación y protección de dichas áreas”*; y Socio Manejo el cual tiene por objetivo estratégico *“Garantizar un manejo sostenible del bosque nativo, generando beneficios económicos y sociales, (...) Se estructura como un mecanismo de transferencia no monetaria (asistencia/asesoría técnica y reducción de tasas), orientado a fomentar prácticas sostenibles para el manejo de bosques, reducir los costos de transacción y de producción asociados, enfocados a los tres eslabones principales de la cadena de valor de la madera (producción, procesamiento y comercialización”* (Ministerio de Ambiente Ecuador, 2017)

#### **4.6.4. Sistema de asentamientos humanos**

- **Aplicar medidas de disminución de riesgos por inundaciones y deslaves**

Una medida propuesta por Ojeda & Alvarez, (2000), se considera la forestación, que consiste en la creación de una cobertura, orientada especialmente en laderas y encañonados, con el fin de reducir los riesgos existentes por inundaciones, deslaves y derrumbes principalmente, a la vez que se mantengan los cauces naturales.

Entre las recomendaciones para reducir los riesgos por inundación y deslaves que señala la Secretaría de Gestión de Riesgos se encuentran:

- Evitar el encajonamiento de los causes de agua (quebradas, ríos, etc.), o evitar la interrupción transversal,
- Evitar el asentamiento de viviendas en los márgenes de los causes de agua y sobre rellenos, dado el alto grado de vulnerabilidad e inestabilidad del suelo,
- Debe recuperarse todos los cause que han sido intervenidos, considerándola zona de protección,
- Expedirse ordenanzas municipales para sostenibilidad, de las áreas o ecosistemas frágiles y zonas de recarga hídrica,
- Realizar un adecuado Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial, en el que se define los bordes de los cauces naturales, delimitar los márgenes de seguridad, establecer su uso y hacerlos respetar,

#### **4.6.5. Sistema económico**

- **Implementar proyectos de uso de tecnología en riegos para aprovechamiento de agua**

Para que la producción agrícola sea competitiva, dentro del marco de una agricultura sustentable, es importante la aplicación de tecnología, la cual permite reducir los posibles impactos ambientales generados y conservar los recursos naturales genéticos, agua y suelo. La escases del agua constituye un gran riesgo para el desarrollo agrícola, para esto es importante la implementación y el aprovechamiento de tecnología en riego (Valero et all, 2010). Para la elección de los métodos de riego, hay que considerar diferentes factores (Figura 12).

<b>Factores</b>	<b>Riego de superficie</b>	<b>Aspersión</b>	<b>Riego localizado</b>
Precio del agua	Bajo	Medio	Alto
Suministro del agua	Irregular	Regular	Continuo
Disponibilidad del agua	Abundante	Media	Limitada
Pureza del agua	No limitante	Sin sólidos	Elevada
Capacidad de infiltración del suelo	Baja a media	Media a alta	Cualquiera
Capacidad de almacenamiento del suelo	Alta	Media a baja	No limitante
Topografía	Plana y uniforme	Relieve suave	Irregular
Sensibilidad al déficit hídrico	Baja	Moderada	Alta
Valor de la producción	Bajo	Medio	Alto
Coste de la mano de obra	Bajo	Medio	Alto
Coste de la energía	Alto	Bajo	Moderado
Disponibilidad de capital	Baja	Media a alta	Alta
Exigencia en tecnología	Limitada	Media a alta	Elevada

*Figura 12. Factores que favorecen la elección del método de riego.*

Fuente: Pereira y Trou (1999)

Valero et al (2010), habla de tres tipos de tecnología de riego, entre las que se encuentran: riego por superficie, por aspersión y localizado. El riego por superficie es uno de los más utilizados, ya que técnicamente es apropiado para suelos llanos y pesados, y económico para muchos cultivos y sistemas de producción. La carencia de mano de obra va haciendo la automatización más popular para la aplicación del riego por aspersión, este sistema permite mediante válvulas controlar la apertura y cierre del flujo de agua, también permite regar varias parcelas al mismo tiempo. El riego localizado es una variante del método de aspersión, mediante el cual se aplica por goteo al área de la parcela donde se encuentran las raíces de las plantas. Cada sistema presenta una eficiencia diferente, lo cual les hace más valorados unos del otro para su utilización (Figura 13).

Sistemas de riego	Eficiencias (%)
• Riego por gravedad con nivelado de precisión:	
— Surcos.	65 – 85
— Fajas.	70 – 85
— Canteros.	70 – 90
• Riego por gravedad tradicional:	
— Surcos.	40 – 70
— Fajas.	45 – 70
— Canteros.	45 – 70
• Riego de arroz, canteros en inundación permanente.	25 – 70*
• Riego por aspersión:	
— Sistemas estacionarios de cobertura total.	65 – 85
— Sistemas estacionarios desplazables manualmente.	65 – 80
— Laterales con ruedas.	65 – 80
— Cañón con enrollador o con cable.	55 – 70
— Laterales móviles, con pivote central.	65 – 85
• Microrriego (riego localizado):	
— Goteros, ≈ 3 emisores por planta (frutales).	85 – 95
— Goteros, < 3 emisores por planta.	80 – 90
— Micro-aspersores y “difusores” (frutales).	85 – 95
— Línea continua de emisores gota-a-gota.	70 – 90

\* Los valores más bajos se refieren a canteros tradicionales, mal nivelados y sin un adecuado control de la lámina de agua del cantero, mientras que los más altos se refieren a canteros de grandes dimensiones, bien nivelados y con buen control de la lámina de agua.

Figura 13. Valores indicativos de la eficiencia de la aplicación de las diferentes tecnologías de riego.

Fuente: Valero et al (2010).

## • Uso de prácticas agrícolas de conservación de suelos

La rotación de cultivos es la siembra alternada de productos o especies vegetales, de acuerdo a los ciclos de los mismos o en relación a las condiciones ecológicas o económicas de la producción. La ventaja de la implementación de esta estrategia es que ayuda conservar y mejora la fertilidad de los suelos, previene la incidencia de plagas, enfermedades, malezas, control de la erosión, mantiene el suelo protegido y ayuda a conservar la humedad del suelo. Entre las alternativas para la rotación de cultivos se encuentra:

- Cultivos múltiples (Asociados, alternados).- son cultivos que crecen simultáneamente en la misma parcela, pueden ser del mismo ciclo o alternos y su efectividad es hasta en pendiente del 12% (Figura 14).



*Figura 14. Cultivos asociados.*

Ambato (2008)

- **Manejo el rastrojo.** esta técnica permite distribuir los residuos de la producción agrícola, sobre las parcelas para generar una cubierta protectora que permite disminuir los riesgos de erosión por viento y agua (Figura 15).



*Figura 15. Mulch. Limonal,*

Bospas (2003)

- **Cultivos de cobertura.** esta técnica se enfoca en la siembra de cultivos anuales o perennes de sistemas radiculares y foliares densos, las cuales se intercalan con el cultivo principal para lograr la completa cobertura del suelo e impedir el desarrollo de malezas. Es recomendable utilizarlos en zonas hasta con 15 % de pendiente (Figura 16).



*Figura 16. Cultivo de trigo,*  
Yuyucocha (2008)

- **Labranza cero.** esta práctica ostenta el no uso o casi nada, de la labranza del suelo antes de plantar los cultivos, el suelo no se voltea y las malezas se van controlando con el uso de herbicidas, procurando siempre mantener una cobertura vegetal para protección del suelo, está permitido hasta en suelos con 50% de pendientes.

**Labranza conservacionista.** se trata de la remoción y volteo del suelo para mejorar condiciones físicas, químicas y biológicas, permite conservar el agua de los suelos y se clasifica en: labranza profunda, labranza reducida o superficial, labranza mínima (Figura 17) y labranza mínima superficial.



*Figura 17. Labranza mínima.*  
Yuyucocha (2008)

## CONCLUSIONES

- Al relacionar el cambio de uso de suelo, con el porcentaje de escorrentía para los años 1996 – 2017, se puede aseverar que, el cambio de uso de suelo si es un factor influyente en la escorrentía, siendo el componente precipitación, una de las variables más importantes para el aporte del caudal.
- La población entrevistada ha señalado que la posible causa del desabastecimiento, no sea la reducción de agua de riego, sino la distribución de la misma en relación a la producción agrícola de la zona media. De esta manera, los nuevos predios agrícolas, presentan una producción de cultivos que requieren más demanda de agua de riego, como son, los frutales y los de bajo invernadero.
- Los lineamientos de conservación se han considerado en base a las ideas señaladas por la población, principalmente enfocados en prácticas agrícolas de conservación de recursos, para evitar riesgos y pérdida del recurso agua. La aplicación de estas temáticas propuestas, permitirá una mejora en el desarrollo sostenible de la microcuenca del río Escudillas.
- El análisis multitemporal con imágenes satelitales es una herramienta importante para poder controlar los cambios de usos de suelo en el transcurso de los años, pudiendo así obtener un enfoque real en la gestión sustentable de los recursos naturales.

## RECOMENDACIONES

- Gestionar con las autoridades ambientales competentes, la posibilidad de que la zona alta de la microcuenca donde se encuentra el páramo, sea declarada como área de conservación y que pertenezca al Patrimonio de Áreas Naturales del Estado (PANE), de esta manera se podrá conservar los puntos de recarga hídrica.
- Implementar proyectos de riego tecnificado, para brindar apoyo a los pequeños y grandes agricultores de las provincias de Carchi e Imbabura, mismos que se les deberá incorporar planes de seguimiento, que permita tener valores reales de eficiencia de dichos proyectos.
- Para siguiente estudios es recomendable disponer de información actual sobre datos agroclimáticos, sería importante que las Instituciones Públicas mantengan actualizada la información de sus plataformas, para que los estudios puedan ser desarrollados con más fluidez.
- Es recomendable realizar este tipo de estudios, principalmente en zonas de alta biodiversidad o de recarga hídrica, para poder implementar en los planes de Ordenamiento y desarrollo territorial, acciones que permitan restaurar los sistemas fragmentados.

## BIBLIOGRAFÍA

- Albán, A. (2010). En el documento de Política y Estrategia Nacional de Biodiversidad del Ecuador 2001 – 2010.
- Almeida, L. (2014). Una revisión de la evaluación de la calidad del agua de los ríos de la provincia de Imbabura. Universidad Técnica Particular de Loja.
- Bocco, G., Mendoza, M., & Masera, O. (2001). La dinámica del cambio del uso del suelo. Una propuesta metodológica.
- Burrough, P. (1988). Principios of Geographical information systems for land reources assessment.
- Bustamante, M., & Ochoa, E. (2014). Guía práctica para la valoración de servicios eco sistémicos en Madre de Dios. Perú.
- Chuvienco, E. (2002). Teledetección ambiental.
- Constitución de la República del Ecuador. (2008). (pág. 140). Registro Oficial # 449.
- Daily, (1997). *Nature's Services: Societal Dependence on Natural Ecosystems*. Washington: Island Press.
- Diseño de muestreo geo estadístico* (s/f). [Película]. Bolivia.
- Escobar, R. (1995). Apuntes de cuencas hidrográficas. Quito, Ecuador: INEFAN.
- FAO. (2009). Clases texturales del suelo segun USDA. Estados Unidos.
- Geoplades. (2009). Estudio multitemporal de la cobertura vegetal y uso del suelo en los años 1990 - 2008 y proyección al 2030.
- Guzmán, J. (2014). Análisis multitemporal de las zonas forestales en la zona de Intag – Ecuador, período 2010 al 2013. Quito , Ecuador.
- Jorge , G., & Bastienne , S. (Marzo de 2001). Proyectos forestales para mitigación de gases de efecto invernadero.
- Kocian, M., Batker, D., & Harrison-Cox, J. (2011). Estudio ecológico de la región de Intag, Ecuador: Impactos ambientales y recompensas potenciales de la minería. Estados Unidos.: Earth Economics, Tacoma, WA,.
- Lloré, I., & Rodríguez, S. (2005). Evaluación de impactos ambientales y propuesta del plan de manejo ambiental del proyecto de riego Ambuqui. Ecuador: Universidad Técnica del Norte.

- López, R. (2002). Degradación del suelo. Causas, proceso, evaluación e investigación. Merida, Venezuela.
- López, V., Balderas, M., Chávez, M., & Juan, J. G. (2014). Cambio de uso de suelo e implicaciones socioeconómicas en un área mazahua del altiplano mexicano. México.
- Lozano, P., & Villarroel, V. (2009). Análisis multitemporal del uso del suelo y cobertura vegetal Reserva de Biosfera Sumaco. Cooperación Técnica entre Ecuador y la Republica Federal de Alemania.
- Markham, B., Helde, D., & Chandera, G. (2009). Summary of Current Radiometric Calibration Coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI Sensors. South Dakota State University.
- Millennium Ecosystem Assessment. (2003). *Ecosystems and Human Well-Being: A Framework for Assessment*. Washington, DC: Island Press.
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2008). Reconocimiento de los Servicios Ambientales: Una oportunidad para la Gestión de los Recursos Naturales en Colombia. Bogota: WWF. Conservación Internacional y The Nature Conservancy.
- Ministerio de Ambiente Ecuador. (2017). *Socio Bosque, Programa de Protección de bosques*. Obtenido de <http://sociobosque.ambiente.gob.ec/>
- Muñoz, D., Rodríguez, M., & Romero, M. (2008). Análisis multitemporal de cambios de uso del suelo y coberturas, en la microcuenca las minas, corregimiento de la laguna, municipio de Pasto, departamento de Nariño.
- Murillo Illanes, M. (2010). El escurrimiento superficial. Bolivia .
- Núñez, M. (2000). Manual de técnicas agroecológicas. México: Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente.
- Ojasti, J. (2001). Estrategia regional de biodiversidad para los países del trópico Andino. *Convenio de cooperación técnica no reembolsable ATN/JF-5887-RG CAN - BID*. Venezuela.
- Ojeda, L., & Alvarez, G. (2000). La reforestación de Tijuana, baja california como un mecanismo de reducción de riesgos naturales. *Estudios Fronterizos*, vol. 1, núm. 2.

- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (1996). Forest resources assessment.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2007). La nueva generación de programas y proyectos de gestión de cuencas hidrográficas. pág. 150.
- Organización de Naciones Unidas. (Noviembre de 1972). Convenio sobre la protección del patrimonio mundial, cultural y natural. París.
- Organización de Naciones Unidas. (1992). Convenio sobre la Diversidad Biológica .
- Organización de Naciones Unidas. (2000). Declaración del Milenio.
- Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. (2006). Informe sobre Desarrollo Humano Más allá de la escasez: Poder, pobreza y la crisis mundial del agua.
- Rodriguez, C., Miranda, M., Miguel, R., Ulberich, A., & Ruiz, A. (2012). Cambios de uso del suelo e impactos sobre el agua subterránea en un barrio al sur de Tandil, Buenos Aires. Argentina: VII Congreso de Medio Ambiente /AUGM.
- Rosero, A. (19 de Agosto de 2012). *Youtube*. Obtenido de Laguna Monte Olivo: <https://www.youtube.com/watch?v=oiXLlb1FKW8>
- Ruiz, V., Herrera, A., & Savé, R. (2013). Análisis multitemporal del cambio de uso del suelo, en el Paisaje Terrestre Protegido Miraflores Moropotente Nicaragua, 1993 – 2011. Asociación Española de ecología terrestre.
- Ruiz, V; Savé, R; Herrera, A. (2013). *Análisis multitemporal del cambio de uso del suelo, en el Paisaje Terrestre Protegido Miraflores Moropotente Nicaragua, 1993 – 2011*. España: Asociación Española de Ecología Terrestre.
- SENPLADES. (2011). Propuestas de Desarrollo y Lineamientos para el Ordenamiento Territorial. Quito.
- Tituaña, W. (2011). Propuesta de Manejo de la Microcuenca de la Quebrada San Antonio de Ibarra. Ibarra, Ecuador.
- Tixilima, N. (2015). Plan de manejo del recurso hídrico de la acequia Rosas Pamba, para fortalecer el PDyOT de la parroquia La Esperanza. Ibarra, Ecuador.
- Torrico, M. (2011). *Determinación de balances hídricos en microcuencas y subcuencas*. Chuquisaca.
- Tutoriales al día. (2010-2013). *Tutoriales Ingeniería Civil*. Obtenido de Todo lo que necesitas saber sobre coeficiente de escorrentía: [www.tutorialesaldia.com](http://www.tutorialesaldia.com)

U.S. Geological Survey. (2017).

Unites States Geological Survey. (2017). Obtenido de [earthexplorer.usgs.gov](https://earthexplorer.usgs.gov)

Unites States Geological Survey. (2017). *Earthexplorer*. Obtenido de <https://earthexplorer.usgs.gov/>

Valero, J., Picornell Buendía, M., Santos Pereira, L., & Tarjuelo Martín-Benito, J. (Marzo de 2010). El riego y sus tecnologías. Universidad de Castilla - La Mancha.

Vera, E., & Jara, J. (2009). ESTIMACIÓN DE LA EVAPOTREEstimación de la evapotranspiración de referencia para dos zonas (Costa y Región Andina) del Ecuador.

# ANEXOS

## ANEXO 1. ENCUESTA APLICADA A ACTORES SOCIALES



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**

Trabajo de Investigación previo a la obtención del Título de Magister en Gestión Sustentable de Recursos Naturales



### ENTREVISTA DIRIGIDA A ACTORES SOCIALES DE LA MICROCUENCA DEL RÍO ESCUDILLAS

**Tema estudio:** Estudio multitemporal de cambio de uso del suelo, en la microcuenca del río Escudillas.

**Nombre:** .....

**Actividad:** .....

**Fecha:** .....

1. **¿Cree usted que el abastecimiento del agua en la microcuenca del río Escudillas, se ha reducido o aumentando en el transcurso de los últimos 15 años?**

.....  
.....  
.....  
.....  
.....

2. **¿Ha observado cambios en las coberturas del suelo de la microcuenca del río Escudillas? Indique cuales.**

.....  
.....  
.....  
.....

3. **¿Considera Usted que las actividades de desarrollo de la población, han ocasionado daños en el abastecimiento de recursos (agua y suelo)?**

.....  
.....  
.....  
.....

4. **¿Según su criterio, que medidas deberían implementarse para la conservación de los recursos hídricos?**

.....  
.....  
.....  
.....

**ANEXO 2. LISTADO DE ACTORES SOCIALES IDENTIFICADOS PARA LA MICROCUENCA DEL RÍO ESCUDILLAS**

	<b>Nombre y Apellidos</b>	<b>Institución/cargo/actividad</b>	<b>Dirección</b>	<b>Teléfono</b>
1	Sr. Jaime Narváez	Ex-aguatero junta aguas San Rafael	San Rafael	0959770842
2	Ing. Gonzalo Aguirre	Presidente junta canal de riego San Rafael - Monte Olivo	San Rafael	0997073811
3	Sr. Fidencio Benalcázar	Agricultor	El Manzanal	0997952669
4	Sr: Carlos Toro	Presidente GAD parroquial Monte Olivo	Monte Olivo	063013340
5	Sr. Cecilio Tayam	Presidente GAD parroquial Chuga	Chuga	063048703
6	Sra. Cecilia Lachimba	Agricultor	Chuga	-
7	Ing. Rosa Acosta	Provedora agrícolas suministros	Chuga - Pimampiro	0999609659

### **ANEXO 3. REGISTRO FOTOGRÁFICO**



**Confluencia del Río Escudillas**



**Cultivos de la zona de estudio**



---

**Afluentes de la microcuenca, Quebrada San Agustín.**

---



---

**Panorámica del área de estudio**



---

**Afluentes de la microcuenca, Río San Miguel**



**Zona alta de la microcuenca Palmar Chico**





---

**Entrevistas dirigida a actores clave de la microcuenca**



**Entrevistas dirigida a actores clave de la microcuenca**

---



---

**Entrevista Presidente Junta Aguas San Rafael**

---

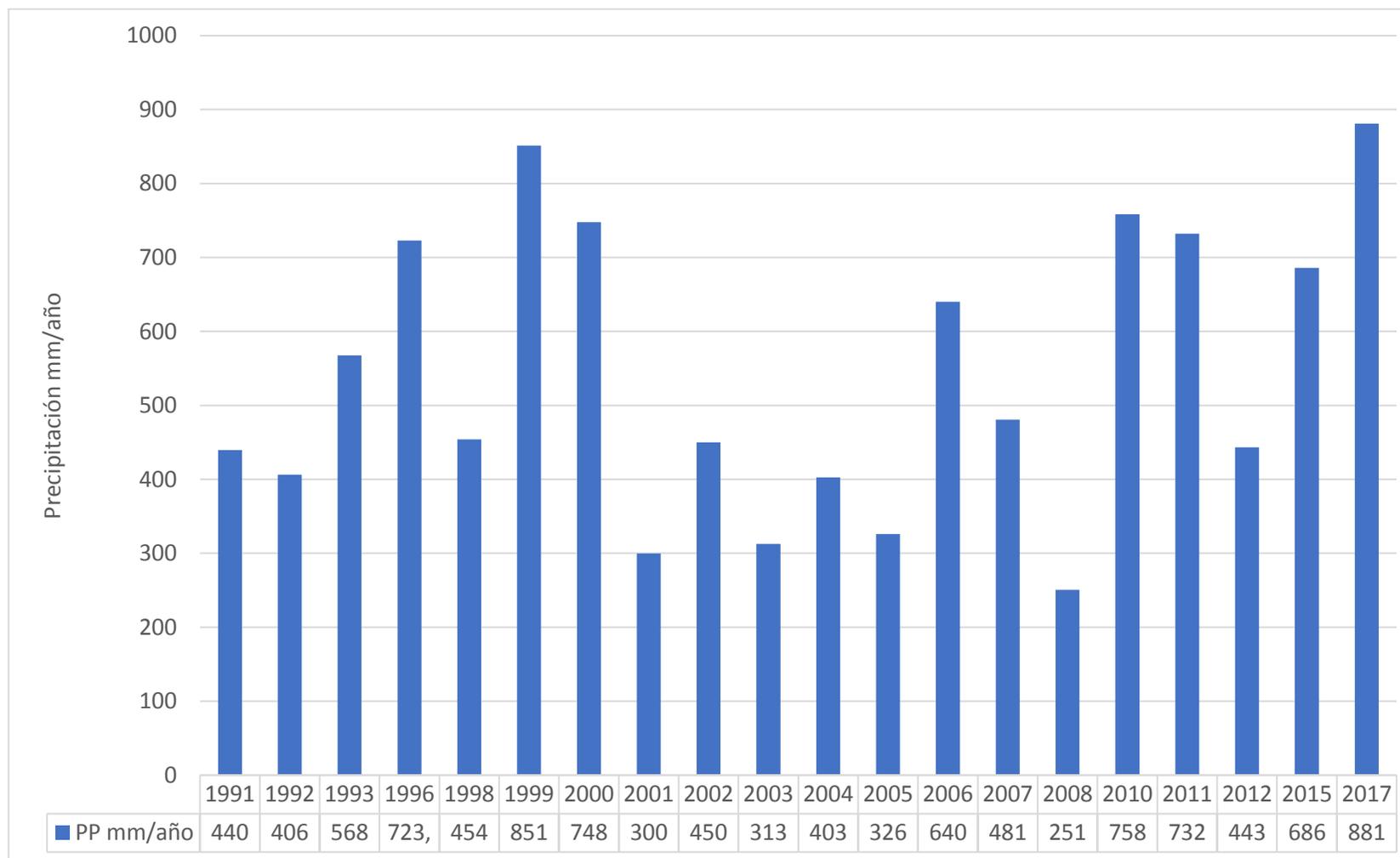


---

**Zon a media – alta del área de estudio**

---

**ANEXO 4. Diagrama análisis precipitación estación Pimampiro M315**



**ANEXO 5. Firmas de verificación de firmas clasificación supervisada**

