



# **UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**

## **FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES CARRERA DE INGENIERÍA FORESTAL**

**Trabajo de titulación presentado como requisito previo a la obtención del  
título de Ingeniera Forestal**

### **ESTUDIO DE BALANCE HÍDRICO EN PLANTACIONES FORESTALES Y PASTURAS, SECTOR PREÑADILLAS, CANTÓN ESPEJO**

#### **AUTORA**

Erika Magaly Pule Mejía

#### **DIRECTOR**

Ing. Mario José Añazco Romero, Mgs.

**IBARRA - ECUADOR**

2016

# UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS  
AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES  
CARRERA DE INGENIERÍA FORESTAL

## “ESTUDIO DE BALANCE HÍDRICO EN PLANTACIONES FORESTALES Y PASTURAS, SECTOR PREÑADILLAS, CANTÓN ESPEJO”

Trabajo de titulación revisado por el Comité Asesor, por lo cual se autoriza la  
presentación como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERA FORESTAL

### APROBADO


Ing. Mario José Añazco Romero, Mgs.  
**Director de trabajo de titulación**



Ing. Oscar Armando Rosales Enriquez, MSc.  
**Tribunal de trabajo de titulación**



Ing. Karla Fernanda Dávila Pantoja, Mgs.  
**Tribunal de trabajo de titulación**



Dr. Jhonn James Rodríguez Echeverry, PhD.  
**Tribunal de trabajo de titulación**



Ibarra - Ecuador  
2016



# UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

## 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:

DATOS DE CONTACTO			
<b>Cédula de identidad:</b>	040178199-2		
<b>Apellidos y nombres:</b>	Erika Magaly Pule Mejía		
<b>Dirección:</b>	León Ruales y La Capilla Mira – Carchi		
<b>Email:</b>	<a href="mailto:akire_forestal@hotmail.com">akire_forestal@hotmail.com</a>		
<b>Teléfono fijo:</b>	2280 450	<b>Teléfono móvil:</b>	0985364605

DATOS DE LA OBRA	
<b>Título:</b>	“ESTUDIO DE BALANCE HÍDRICO EN PLANTACIONES FORESTALES Y PASTURAS, SECTOR PREÑADILLAS, CANTÓN ESPEJO”
<b>Autora:</b>	Erika Magaly Pule Mejía
<b>Fecha:</b>	30 de junio de 2016
SOLO PARA TRABAJOS DE TITULACIÓN	
<b>Programa:</b>	Pregrado
<b>Título por el que opta:</b>	Ingeniera Forestal
<b>Director:</b>	Ing. Mario José Añazco Romero, Mgs.

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

Yo, Erika Magaly Pule Mejía, con cédula de ciudadanía Nro. 0401781992; en calidad de autor y titular de los derechos patrimoniales de la obra o trabajo de titulación descrito anteriormente, hago la 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. CONSTANCIA

El autor 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 es el titular de los derechos patrimoniales, por lo que asumen la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrán en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, 30 de junio del 2016

**ACEPTACIÓN:**



.....  
Ing. Betty Mireya Chávez Martínez  
**JEFE DE BIBLIOTECA**

**LA AUTORA:**



.....  
Erika Magaly Pule Mejía  
C.C.: 040178199-2



## UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

### **CESIÓN DE DERECHOS DEL AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**

Yo Erika Magaly Pule Mejía, con cédula de ciudadanía Nro. 040178199-2; manifiesto la 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 autor de la obra o trabajo de titulación denominado "ESTUDIO DE BALANCE HÍDRICO EN PLANTACIONES FORESTALES Y PASTURAS, SECTOR PREÑADILLAS, CANTÓN ESPEJO", que ha sido desarrollada para optar por el título de Ingeniera Forestal en la Universidad Técnica del Norte, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente. En mi condición de autora 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.

.....  
Erika Magaly Pule Mejía  
C.C.: 040178199-2

Ibarra, a los 30 días de junio del 2016

## REGISTRO BIBLIOGRÁFICO

**Guía:** FICAYA -UTN

**Fecha:** Ibarra, 30 de junio del 2016

Erika Magaly Pule Mejía: **"ESTUDIO DE BALANCE HÍDRICO EN PLANTACIONES FORESTALES Y PASTURAS, SECTOR PREÑADILLAS, CANTÓN ESPEJO"**/ Trabajo de titulación. Ingeniera Forestal. Universidad Técnica del Norte. Carrera de Ingeniería Forestal Ibarra, 30 de junio del 2016. 160 páginas

**DIRECTOR:** Ing. Mario José Añazco Romero, Mgs.

El objetivo principal de la presente investigación fue: Generar información hidrológica forestal en el acuífero de Preñadillas para la toma de decisiones a nivel del Gobierno Autónomo Descentralizado del Cantón Mira. Entre los objetivos específicos se encuentra: Caracterizar los diferentes tipos de ecosistemas forestales que tienen influencia en el acuífero Preñadillas. Determinar el balance hídrico en cada uno de los ecosistemas forestales presentes en el acuífero. Determinar la calidad del agua por tipo de sistema natural y agroecosistemas. Diseñar una propuesta del manejo del acuífero en base a la información hidrológica forestal.

**Fecha:** 30 de junio del 2016

  
.....  
Ing. Mario José Añazco Romero, Mgs.  
**Director de Trabajo de Titulación**

  
.....  
Erika Magaly Pule Mejía  
**Autora**

## DEDICATORIA

*Esta obra va dedicada a mi familia quienes por ellos soy lo que soy, en especial a mis padres por su apoyo, consejos, comprensión, amor, ayuda en los momentos difíciles, y por apoyarme con los recursos necesarios para estudiar. Me han dado todo lo que soy como persona, mis valores, mis principios, mi carácter, mi empeño, mi perseverancia, mi coraje para conseguir mis objetivos. A mis hermanas por ser el ejemplo a seguir.*

*Sobre todo quiero dedicarle a mi primita Celeste, que aunque no esté presente físicamente, sé que me acompaña en todo momento y me da las fuerzas a seguir adelante, siempre serás mi angelito de la guardia.*

## AGRADECIMIENTO

*Quiero agradecer primeramente a Dios por darme fuerzas para seguir adelante en este camino.*

*A mi director de tesis, Ing. Mario Añazco por su esfuerzo y dedicación, quien con sus conocimientos, su experiencia, su paciencia y su motivación ha logrado en mí que pueda terminar mis estudios con éxito.*

*A Ms, Dr. Hamíl Uribe por ser un gran amigo y un pilar para que esta obra se realice.*

*A mis asesores que supieron brindar sus conocimientos y en especial a Ph.D. James Rodríguez por ser paciente conmigo.*

*Ph.D. Javier Zapata que me impartió grandes conocimientos sobre hidrología y amar esta profesión.*

*A Felipe Mafla por estar siempre a mi lado y alentarme a no decaer en los momentos difíciles.*

*Y a todas las personas que pusieron su granito de arena en la culminación de mi vida estudiantil.*



# ÍNDICE DE CONTENIDOS

	<b>Págs.</b>
AUTORA .....	i
DIRECTOR.....	i
IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA.....	iii
CESIÓN DE DERECHOS DEL AUTOR .....	v
REGISTRO BIBLIOGRÁFICO .....	vi
DEDICATORIA .....	vii
AGRADECIMIENTO .....	viii
ÍNDICE DE CONTENIDOS .....	ix
ÍNDICE DE TABLAS .....	xv
ÍNDICE DE GRÁFICOS .....	xvi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xvi
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	xvii
RESUMEN.....	xviii
ABSTRACT.....	xix
<b>CAPÍTULO I.....</b>	<b>1</b>
<b>1 INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
1.1 OBJETIVOS.....	3
1.1.1 General.....	3
1.1.2 Específicos.....	3
1.2 PREGUNTAS DIRECTRICES.....	3

<b>CAPÍTULO II</b> .....	5
<b>2 MARCO TEÓRICO</b> .....	5
2.1 FUNDAMENTACIÓN LEGAL .....	5
1.1 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA .....	5
2.2.1 Disponibilidad del recurso agua en el mundo .....	5
2.2.2 Disponibilidad del recurso agua en Ecuador .....	7
2.1.1 Hidrología.....	9
2.1.1.1 Ciclo hidrológico .....	9
2.1.1.2 Hidrología forestal .....	14
2.1.2 Ecología forestal .....	15
2.1.2.1 Páramo .....	15
2.1.2.2 Agroecosistemas .....	16
2.1.2.3 Interacciones ecológicas en plantaciones forestales.....	16
2.1.2.4 Interacción árbol - pasto .....	17
2.1.3 Cuencas hidrográficas.....	18
2.1.3.1 Definición .....	18
2.1.3.2 Delimitación de una cuenca hidrográfica .....	19
2.1.3.3 Componentes de una cuenca .....	19
2.1.3.4 Características morfométricas de las cuencas hidrográficas .....	19
2.1.3.4.1 Área de drenaje.....	20
2.1.3.4.2 Longitud del cauce.....	20
2.1.3.4.3 Longitud de la cuenca.....	21
2.1.3.4.4 Ancho de la cuenca.....	21
2.1.3.5 Cuenca como sistema .....	21
2.1.3.6 Zonas de recarga hídrica.....	21

2.1.3.7	Clasificación de las zonas de recarga hídrica .....	22
2.1.3.7.1	Zonas de recarga hídrica superficial .....	22
2.1.3.7.2	Zonas de recarga hídrica sub-superficial .....	23
2.1.3.7.3	Zonas de recarga hídrica subterránea .....	23
2.1.3.8	Factores que afectan la recarga hídrica.....	23
2.1.3.9	Acuífero .....	24
2.1.4	Restauración hidrológica .....	25
2.1.4.1	Restauración hidrológica forestal .....	25
2.1.5	Balance hídrico .....	26
2.1.5.1	Balance hídrico superficial .....	26
2.1.6	Políticas hidrológicas forestales .....	27
2.1.6.1.1	Ejemplos en el mundo .....	28
2.1.6.1.2	Ejemplos en el Ecuador .....	30
2.1.7	Estudios relacionados .....	32
2.1.7.1	Regulación hídrica bajo tres coberturas vegetales en la cuenca del río San Cristóbal, Bogotá D.C. ....	32
2.1.7.2	Balance hídrico en plantaciones jóvenes de <i>Eucalyptus globulus</i> y <i>Pinus radiata</i> en el sur de Chile .....	34
<b>CAPÍTULO III</b> .....		<b>36</b>
<b>3</b>	<b>MATERIALES Y MÉTODOS</b> .....	<b>36</b>
3.1	UBICACIÓN DEL ESTUDIO .....	36
3.1.1	Política .....	36
3.1.2	Geográfica .....	36
3.2	BIOFÍSICA.....	36
3.2.1	Datos climáticos .....	36

3.2.2	Geología .....	37
3.2.2.1	Descripción del uso de suelo .....	38
3.2.3	Biodiversidad.....	38
3.2.4	Hidrología.....	39
3.2.4.1	Agua subterránea .....	39
3.2.5	Características socioeconómicas .....	39
3.2.5.1	Demografía .....	39
3.2.5.1.1	Población .....	39
3.2.5.1.2	Pobreza .....	40
3.2.5.1.3	Servicios básicos .....	40
3.2.5.1.4	Producción .....	41
3.2.6	Gobernabilidad .....	43
3.3	MATERIALES DE CAMPO .....	44
3.3.1	De campo .....	44
3.3.2	De oficina .....	44
3.3.3	Equipos .....	44
3.4	METODOLOGÍA.....	45
3.4.1	Delimitación del área de estudio .....	45
3.4.2	Inventario florístico .....	45
3.4.2.1	Inventario plantación forestal .....	45
3.4.2.2	Inventario pasto cultivado .....	46
3.4.3	Balance hídrico .....	46
3.4.3.1	Modelo hidrológico .....	46
3.4.3.2	Variables del modelo .....	50
3.4.3.3	Calibración del modelo.....	53
3.4.4	Parámetros morfométricos.....	54

3.4.4.1	Parámetros de forma.....	55
3.4.4.2	Parámetros hídricos .....	57
3.4.5	Zona de recarga .....	58
3.4.6	Análisis de agua.....	59
3.4.6.1	Toma de muestras para análisis físico – químico.....	59
3.4.6.2	Toma de muestras para análisis microbiológicos .....	60
3.4.6.3	Análisis de muestras en el laboratorio.....	60
3.4.7	Propuesta de manejo del acuífero.....	62
<b>CAPÍTULO IV .....</b>		<b>65</b>
<b>4</b>	<b>RESULTADOS .....</b>	<b>65</b>
4.1	CARACTERIZACIÓN DE ECOSISTEMAS.....	65
4.1.1	Plantación Forestal .....	65
4.1.2	Pasto cultivado.....	66
4.2	BALANCE HÍDRICO.....	67
4.2.1	Precipitación .....	67
4.2.2	Tensión .....	68
4.2.3	Calibración del modelo hídrico .....	71
4.3	PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS .....	71
4.4	RECARGA HÍDRICA .....	76
4.5	ANÁLISIS DE AGUA .....	78
4.5.1	Análisis físicos del agua .....	80
4.5.2	Análisis químicos del agua.....	82
4.5.3	Análisis microbiológicos del agua.....	84
4.6	PROPUESTA DE PLAN DE MANEJO.....	85
4.6.1	Definición del objetivo estratégico.....	85

4.6.2	Análisis del contexto .....	88
4.6.3	Actores.....	89
4.6.4	Factores.....	93
4.6.5	Acciones .....	94
<b>CAPÍTULO V.....</b>		<b>98</b>
<b>5</b>	<b>DISCUSIÓN.....</b>	<b>98</b>
5.1	CARACTERIZACIÓN DE ECOSISTEMAS.....	98
5.2	BALANCE HÍDRICO.....	100
5.3	CALIDAD DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO.....	102
5.3.1	Parámetros físicos.....	104
5.4	RESPUESTAS A LAS PREGUNTAS DIRECTRICES.....	106
<b>CAPÍTULO VI.....</b>		<b>108</b>
<b>6</b>	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>108</b>
6.1	CONCLUSIONES.....	108
6.2	RECOMENDACIONES .....	109
<b>7</b>	<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>110</b>
<b>8</b>	<b>GLOSARIO DE TÉRMINOS .....</b>	<b>118</b>
<b>9</b>	<b>ANEXOS .....</b>	<b>119</b>
9.1	ANEXOS DE MAPAS TEMÁTICOS.....	119
9.2	ANEXOS RESULTADOS DE ANALISIS DE AGUA – SUELO.....	136

## ÍNDICE DE TABLAS

	<b>Págs.</b>
<i>Tabla 1.</i> Datos climáticos .....	37
<i>Tabla 2.</i> Suelo .....	37
<i>Tabla 3.</i> Uso del suelo .....	38
<i>Tabla 4.</i> Demografía .....	39
<i>Tabla 5.</i> Pobreza índice de necesidades básicas insatisfechas.....	40
<i>Tabla 6.</i> Matriz para descripción de servicios básicos .....	40
<i>Tabla 7.</i> Gobernabilidad del agua.....	43
<i>Tabla 8.</i> Radiación solar extraterrestre .....	51
<i>Tabla 9.</i> Valores sugeridos NS .....	54
<i>Tabla 10.</i> Clases de forma de la cuenca.....	56
<i>Tabla 11.</i> Análisis de agua.....	61
<i>Tabla 12.</i> Inventario florístico de Preñadillas.....	65
<i>Tabla 13.</i> Inventario florístico de Chitacaspi.....	66
<i>Tabla 14.</i> Calibración del modelo hidrológico .....	71
<i>Tabla 15.</i> Parámetros morfométricos de la microcuenca de Chitacaspi.....	72
<i>Tabla 16.</i> Parámetros morfométricos de la microcuenca de Preñadillas .....	74
<i>Tabla 17.</i> Análisis de agua Preñadillas .....	79
<i>Tabla 18.</i> Instituciones sociales de los cantones Espejo-Mira.....	90
<i>Tabla 19.</i> Inventario florístico -Macro invertebrados.....	98
<i>Tabla 21.</i> Inventario florístico páramo .....	99

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

	<b>Págs.</b>
<i>Gráfico 1.</i> Disponibilidad de recurso agua el en mundo .....	6
<i>Gráfico 2.</i> Total de precipitaciones anuales.....	7
<i>Gráfico 3.</i> Principales ramas de actividades del Cantón Espejo.....	42
<i>Gráfico 4.</i> Ramas de actividad del cantón Mira .....	43
<i>Gráfico 5.</i> Precipitación mensual de las zonas de estudio .....	67
<i>Gráfico 6.</i> Tensión de agua en el bosque Preñadillas .....	68
<i>Gráfico 7.</i> Tensión de agua en el pasto Chitacspi.....	69
<i>Gráfico 8.</i> Datos calculados bosque – pasto .....	70
<i>Gráfico 9.</i> Potencial de hidrogeno máximo permisible INEN.....	80
<i>Gráfico 10.</i> Sólidos disueltos totales en el agua .....	81
<i>Gráfico 11.</i> Análisis Químico de agua de Preñadillas .....	82
<i>Gráfico 12.</i> Régimen de lluvias medias mensuales en la cuenca .....	100
<i>Gráfico 13.</i> Comparación de parámetros físicos del agua de Bracho – actual investigación (Pule) .....	102
<i>Gráfico 14.</i> Comparación de análisis químico de agua de estudio de Bracho – Pule..	103

## ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1.</i> Recarga total.....	77
<i>Figura 2.</i> Ubicación del área de estudio.....	120
<i>Figura 3.</i> Mapa base .....	121
<i>Figura 4.</i> Mapa geológico .....	122
<i>Figura 5.</i> Mapa de uso de suelo.....	123
<i>Figura 6.</i> Mapa hidrológico.....	124
<i>Figura 7.</i> Mapa de inventario florístico – plantación forestal .....	125
<i>Figura 8.</i> Mapa de inventario florístico – pasto .....	126
<i>Figura 9.</i> Mapa de parámetros morfométricos .....	127



	<b>Págs.</b>
<i>Figura 10.</i> Mapa recarga hídrica – formación geológica .....	128
<i>Figura 11.</i> Recarga hídrica - suelos.....	129
<i>Figura 12.</i> Recarga hídrica - cobertura vegetal .....	130
<i>Figura 13.</i> Recarga hídrica - pendiente .....	131
<i>Figura 14.</i> Recarga hídrica - profundidad del suelo .....	132
<i>Figura 15.</i> Recarga hídrica - textura del suelo .....	133
<i>Figura 16.</i> Recarga hídrica - pedregosidad .....	134
<i>Figura 17.</i> Recarga hídrica total .....	135

## **ÍNDICE DE ILUSTRACIONES**

<b>Ilustración 1.</b> Provincias inmersas en las 79 cuencas hidrográficas .....	9
<b>Ilustración 2.</b> Ciclo hidrológico .....	10
<b>Ilustración 3.</b> Esquema de cuenca hidrográfica .....	20
<b>Ilustración 4.</b> Implementación de sensores de agua .....	52
<b>Ilustración 5.</b> Componentes de la metodología del CIPP .....	62
<b>Ilustración 6.</b> Ruleta del conocimiento .....	64

**TITULO:** “ESTUDIO DE BALANCE HÍDRICO EN PLANTACIONES FORESTALES Y PASTURAS, SECTOR PREÑADILLAS, CANTÓN ESPEJO”

**Autor:** Erika Magaly Pule Mejía

**Director de trabajo de titulación:** Ing. Mario Añazco

Año: 2016

**RESUMEN**

El estudio se realizó en dos zonas, la primera en una cobertura vegetal pasto en el sector de Chitacaspi y la segunda en la plantación forestal ubicada en Preñadillas, Se planteó como objetivo general ”generar información hidrológica forestal en el acuífero de Preñadillas para la toma de decisiones del Gobierno Autónomo Descentralizado del Cantón Mira”, como objetivos específicos se tuvo los siguientes: a) Caracterizar los diferentes tipos de ecosistemas forestales que tienen influencia en el acuífero de Preñadillas; b) Determinar el balance hídrico en cada uno de los ecosistemas forestales presentes en el acuífero; c) Determina la calidad de agua por tipo de sistema natural y agroecosistemas; d) Diseñar una propuesta del manejo del acuífero en base a la información hidrológica forestal. La metodología empleada consta de varios procedimientos de acuerdo a los objetivos propuestos, así para la elaboración del inventario florístico se utilizó la metodología de transectos, a fin de determinar el balance hídrico se empleó el software HYDRUS 1D, luego en el análisis de agua se siguieron las normas establecidas en el laboratorio correspondientes para el efecto y en la propuesta de manejo se aplicó el CIPP (Contexto, Insumo, Proceso, Producto). Entre los principales resultados se tiene que los niveles de infiltración del pasto son menores que en la plantación forestal debiéndose a la compactación del suelo, en cuanto a la humedad presenta mayores niveles de retención en el pasto, todo lo cual permite concluir que el tipo de cubierta vegetal conjuntamente con el manejo que recibe tiene influencia en la cantidad y calidad de agua disponible para el consumo humano. Los análisis microbiológicos del agua certifican que no existe presencia de *E coli* indicando que es apta para el consumo humano, pero tiene una alta incidencia de Sólidos Disueltos Totales indicando que las tuberías son obsoletas.

**TITLE: “STUDY OF WATER BALANCE IN FOREST PLANTATIONS AND PASTURES, SECTOR PREÑADILLAS, CANTON ESPEJO”**

**Author:** Erika Magaly Pule Mejía

**Director of work of titling:** Ing. Mario Añazco

Year: 2016

**ABSTRACT**

The study was analyzed in two zones, the first one in vegetable covered grass in the sector of Chitacspi and the second in a forest plantation located in Prenadillas. The general objective was to “generate hydrological forest information in the aquifer of Prenadillas to influence the decisions of the Municipality of the City of Mira.” Specific objectives were a) Categorize the different types of forestal ecosystems that influence the aquifer of Prenadillas. B) Determine the hydric balance of each present ecosystem c) determine the quality of water either by a natural system or an agricultural ecosystem d) Design a proposal of the handling of the aquifer in basis of the hydrological forest information. The methodology implied was composed of myriad processes, each according to the different objectives. For instance, in the elaboration of the floristic inventory the transect methodology was implied, with the objective to determine the hydric balance using the software HYDRUS 1D. Furthermore, in the water analysis the established laboratory norms were followed and in the proposal of how to handle the aquifer the CIPP was applied. Among the results acquired, it was discovered that the levels of infiltrated grass are less than the forest plantation because of the ground compaction, as for the humidity it represents big levels of retention in the grass, which allows for the conclusion that this type of vegetable along with the handling it receives has great influence in the quantity and quality of the water available for human consumption. The microbiological analysis of the water certify that there is no presence of E. Coli making it qualified for human consumption, however, there is a high result of Dissolved Solids proving that the pipes are obsolete.

# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

La actividad humana ha hecho un uso y manejo irracional de los recursos naturales no renovables que ofrece la naturaleza, generando la degradación de estos. Ocurre en diferentes niveles tales como: explotación petrolera mundial, habilitación de grandes extensiones de suelos para la agricultura, actividades no productivas que se ejecutan dentro del hogar, entre otros, van incrementando en la contaminación. En consecuencia, la amenaza a los recursos naturales ha amentado paulatinamente en las últimas décadas (Peña & Neyra, 2008).

La demanda de agua a nivel mundial va incrementando por el crecimiento demográfico, industrialización y producción del hombre, afectando la disponibilidad y calidad del agua. Según FAO, (2010) las aguas subterráneas abastecen de agua potable por lo menos al 50% de la población mundial y representan el 43% de toda el agua utilizada para el riego. En el planeta, 2.500 millones de personas dependen exclusivamente de los recursos de aguas subterráneas para satisfacer sus necesidades básicas diarias (UNESCO, 2012).

Para la conservación del agua se han realizado plantaciones forestales, un dato muy importante es que el 8% de los bosques del mundo tienen como principal objetivo la conservación del suelo y el agua. Si bien cada hectárea de bosque hace una gran contribución a la regulación de los ciclos del agua, en el mundo hay unos 330 millones de hectáreas de todos los bosques destinadas a la conservación del suelo y el agua mencionado por Rojas, (2011). Los bosques desempeñan numerosas funciones protectoras, influyendo en el clima, protegiendo de la erosión eólica, reduciendo los efectos de las inundaciones, además de los recursos hídricos.

En el Ecuador no se tienen datos actualizados de la contaminación de los recursos hídricos ni el manejo que se realiza para conservarlos, es más, se evidencia que cada vez se van perdiendo poco a poco las fuentes de recarga hídrica y los caudales van bajando, generando escasez de agua para potabilizarla y así se busca más alternativas de nuevos

afluentes que puedan abastecer a la población. Otro aspecto muy importante es el establecimiento de plantaciones forestales sin saber el impacto que afecta a las fuentes de agua cercanas, un ejemplo muy claro es en África del Sur en plantaciones de *Eucalyptus grandis* manifestando una reducción del escurrimiento superficial durante el tercer año después de ser plantados mencionado por Van Lill *et al*, (1980). Mientras que Little *et al*, (2009), indica un estudio que en Chile, no se vio afectado por la cubierta forestal sobre el escurrimiento de dos cuencas hidrográficas, es mas su función reguladora es de 0.40%.

Según estudios de Ecuador Forestal (2012), se estima que en el país cuenta con 165 000 hectáreas de plantaciones forestales de las cuales 90 000 hectáreas se encuentran en la Región Sierra principalmente con las especies de *Pinus sp.* y *Eucalyptus sp.*. En el Cantón Espejo de la Provincia del Carchi, las plantaciones forestales ocupa un 0,03 porciento de su superficie, y las que predominan son de *Eucalyptus sp.* Según datos de GAD - Cantón Espejo, (2015). Varios autores han destacado que las plantaciones forestales generan un desabastecimiento de las fuentes hídricas. Según los conocimientos ancestrales, el desabastecimiento hídrico en el acuífero de Preñadillas, ciudad San Isidro, que suministra agua a la ciudad de Mira, se produce por las plantaciones forestales (comunicación personal). El aprovechamiento de este recurso hídrico subterráneo genera conflictos permanentes especialmente en cuanto a las cantidades destinadas para los diferentes usos de los pobladores. Actualmente el conocimiento hidrológico y regulación que desempeña este acuífero no es suficiente, tal es el caso que no se conoce como influye en la regulación del caudal de la microcuenca.

Con respecto a esta investigación se fundamenta en verificar la información recabada en campo como es la disponibilidad de agua subterránea, para establecer un control; la evaluación de la infiltración de lluvia con la precipitación mensual de la zona y los valores de filtración básica de los suelos y; la cobertura vegetal del suelo. La finalidad es interpretar cuál de los dos ecosistemas es idóneo para que el acuífero mantenga su afluente.

Teniendo la finalidad de resolver el ordenamiento territorial del sector, ya que existe la incorporación errónea de especies forestales, las cuales pueden afectar la estabilidad del recurso hídrico. Con esta información se puede entender el concepto claro de la relación de árboles con el agua, capturando y almacenando para que el ciclo hídrico no se altere, y así formar una calidad de vida estable para los habitantes del Cantón Mira.

## **1.1 OBJETIVOS**

### **1.1.1 General**

Generar información hidrológica forestal en el acuífero de Preñadillas para la toma de decisiones a nivel del Gobierno Autónomo Descentralizado del Cantón Mira.

### **1.1.2 Específicos**

- Caracterizar los diferentes tipos de ecosistemas forestales que tienen influencia en el acuífero Preñadillas.
- Determinar el balance hídrico en cada uno de los ecosistemas forestales presentes en el acuífero.
- Determinar la calidad del agua por tipo de sistema natural y agroecosistemas.
- Diseñar una propuesta del manejo del acuífero en base a la información hidrológica forestal.

## **1.2 PREGUNTAS DIRECTRICES**

- ¿Cuáles serán las características de los diferentes ecosistemas forestales, en cuanto a estructura, composición y funcionalidad?.

- ¿Cuál será el balance hídrico de los diferentes ecosistemas investigados?
- ¿Cuál es la calidad de agua del acuífero a nivel de la captación, en la parte media y en los domicilios?
- ¿Cuáles serán los principales elementos estratégicos que formaran parte de la propuesta del manejo del acuífero?

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1 FUNDAMENTACIÓN LEGAL

El presente estudio se enmarco en la línea de investigación de la carrera: Producción y protección sustentable de los recursos forestales, y en las y los objetivos del Plan Nacional para el Buen Vivir (2013 - 2017) siguientes:

**a) Objetivo 7 del PNBV:** Garantizar los derechos de la naturaleza y promoverla sostenibilidad ambiental, territorial y global.

**Política y lineamiento estratégico 7.3. del PNBV:** Consolidar la gestión sostenible de los bosques, enmarcada en el modelo de gobernanza forestal, **literal f:** Fortalecer el sistema de información forestal y promover la investigación para identificar y cuantificar el patrimonio forestal como base para la toma de decisiones respecto a su conservación y manejo.

**Política y lineamiento estratégico 7.6. del PNBV:** Gestionar de manera sustentable y participativa el patrimonio hídrico, con enfoque de cuencas y caudales ecológicos para asegurar el derecho humano al agua, **literal d:** Fortalecer el ordenamiento territorial basado en el manejo integral y sistémico de las cuencas hidrográficas, a fin de garantizar la provisión de agua para el consumo humano, el riego, los caudales ecológicos, las actividades productivas y la hidroelectricidad.

#### 1.1 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

##### 2.2.1 Disponibilidad del recurso agua en el mundo



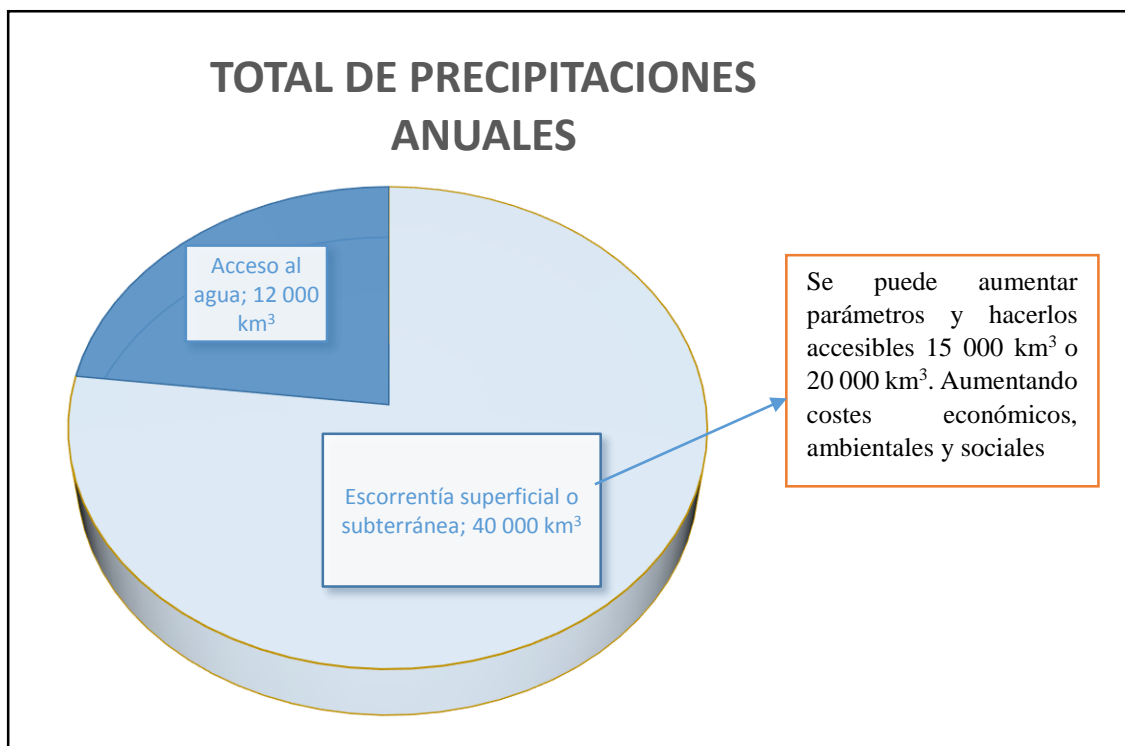
Red de ecología social (2014), establece que el agua del planeta Tierra se encuentra en muchas formas en la atmósfera, cubre aproximadamente 360 650 000 km<sup>2</sup> de superficie terrestre, es decir, casi tres cuartas partes. Sin embargo el 97,5 por ciento de esta agua se encuentra en los mares, los océanos, mientras que el agua dulce presenta solo el 2,5 por ciento del total del agua de la Tierra, pero casi toda el agua se encuentra en hielos de los polos, glaciares y depósitos subterráneos o en otros lugares de difícil acceso y solo un 0,003 por ciento es aprovechable por los humanos.



**Gráfico 1.** Disponibilidad de recurso agua en el mundo

**Fuente:** Red de ecología social (2014)

Klohn & Appelgren (1999), afirman que se ha determinado que las precipitaciones totales anuales son 40 000 km<sup>3</sup> convirtiéndose en escorrentía superficial o a la vez subterránea, pero solo una parte de ese total se encuentra regulado para uso de la agricultura. Se establece que solo 12 000 km<sup>3</sup> a 14 000 km<sup>3</sup> anuales de agua, por lo tanto para hacer accesibles se debe tener un incremento de costes económicos, ambientales y sociales para que este de 15 000 km<sup>3</sup> a 20 000 km<sup>3</sup> del total 40 000 km<sup>3</sup> anuales de escorrentía superficial y subterránea es técnicamente posible.



**Gráfico 2.** Total de precipitaciones anuales

**Fuente:** Klohn & Appelgren, (1999)

De acuerdo a investigaciones realizadas por la UNESCO (2014); consigna que el 33 por ciento de la población mundial no tiene acceso a fuentes seguras de agua de las cuales 50 por ciento carecen de condiciones sanitarias básicas, y en los próximos años la falta de agua preocupará a todo el mundo, invirtiéndose mucho dinero para la disponibilidad de agua en la Tierra, Este estrés hídrico afecta actualmente a 1700 millones de personas y se estima que para el 2025 puede afectar a 5 000 millones. Las sequías como también las inundaciones van matando a un mayor número de individuos creando daños naturales. Actualmente la comunidad internacional está gestionando para una correcta distribución de agua en el mundo, asegurando el futuro favorable para las poblaciones amenazadas por la escasez de agua.

### 2.2.2 Disponibilidad del recurso agua en Ecuador

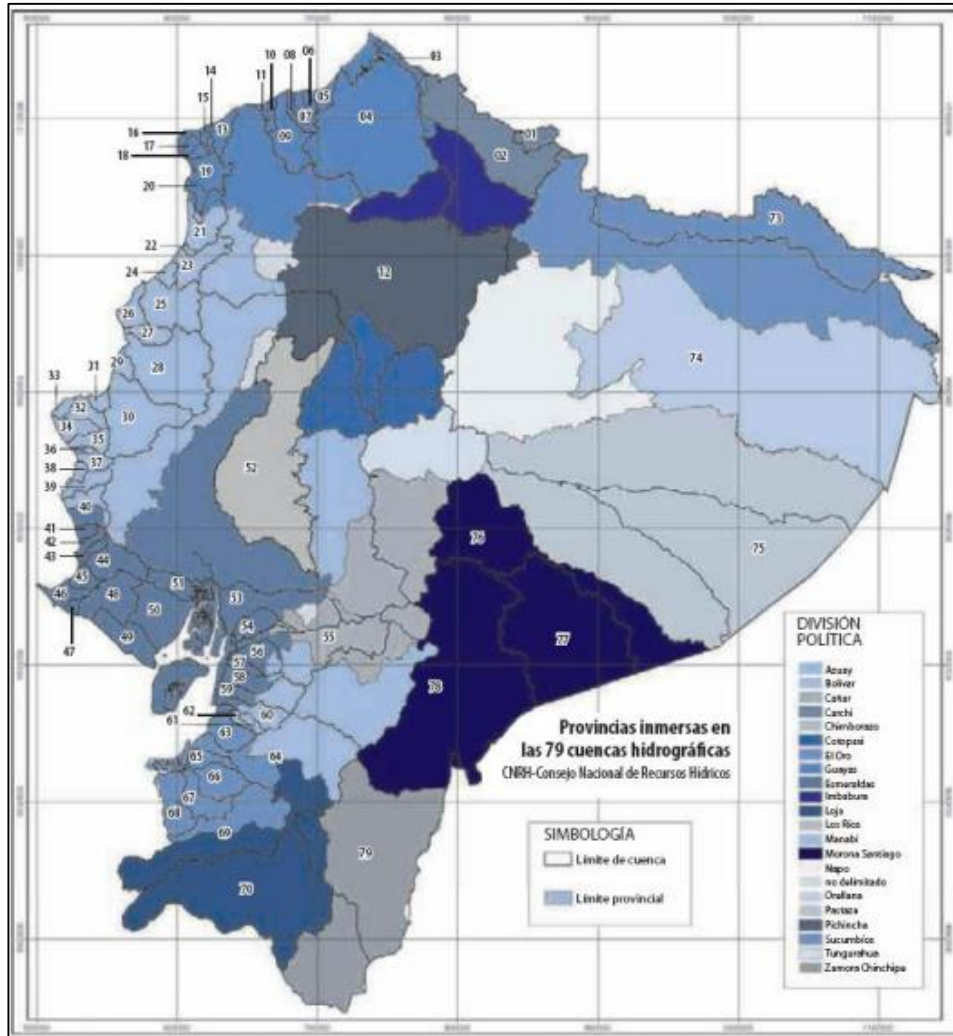
“El recurso agua en el Ecuador es de vital importancia, la información disponible de los recursos subterráneos es limitada. Sin embargo, se puede decir que la mayor parte del país existe agua subterránea disponible en los valles del Callejón Interandino, mientras

que los más abundantes se localizan en la cuenca del río Guayas y en aluviones del Oriente” (SENAGUA, 2012).

Con respecto con los datos de SENAGUA (2009), en el año 2002 se tuvo la necesidad de elaborar información de mapas de unidades hidrológicas actualizadas. En la vertiente del Pacífico cuenta con 72 cuencas mientras que las vertientes del Amazonas con siete grandes cuencas hidrográficas. De estas 72 cuencas que drenan hacia el Océano Pacífico existen dos que son áreas insulares, que son Isla Puna con 923km<sup>2</sup> de extensión y las Islas Galápagos con 8 010 km<sup>2</sup>. Definiéndose 137 subcuencas y aproximadamente 890 microcuencas.

Mientras que SENAGUA (2013), manifiesta que el Ecuador es uno de los países del mundo que, en relación con su tamaño posee mayor disponibilidad de recursos naturales que bordea los 20 700 m<sup>3</sup>/habitante/año, la precipitación media anual es de 1200 milímetros, el 80 por ciento de agua se encuentra en la vertiente amazónica, en total, el país está dividido en 31 sistemas hidrográficos, incluidas las islas Galápagos, con unos recursos hídricos internos renovables de 432 km<sup>3</sup>/año.

Por otra parte Según el MAE (2013), El territorio nacional se divide en 31 sistemas hidrográficos, conformados por 79 cuencas. Estos sistemas corresponden a las dos vertientes hídricas que naciendo en los Andes drenan hacia el Océano Pacífico en un número de 72 cuencas, la cual representan 123 243km<sup>2</sup>, con un porcentaje de superficie del territorio nacional de 48,07 por ciento; y en un número de 7 hacia la Región Oriental, enmarcando un área de 131 802 km<sup>2</sup> y que representa el 51,41% del territorio nacional. La superficie insular aledaña al continente es de 1 325 km<sup>2</sup>, que representa el 0,52 por ciento del territorio nacional.



*Ilustración 1. Provincias inmersas en las 79 cuencas hidrográficas*

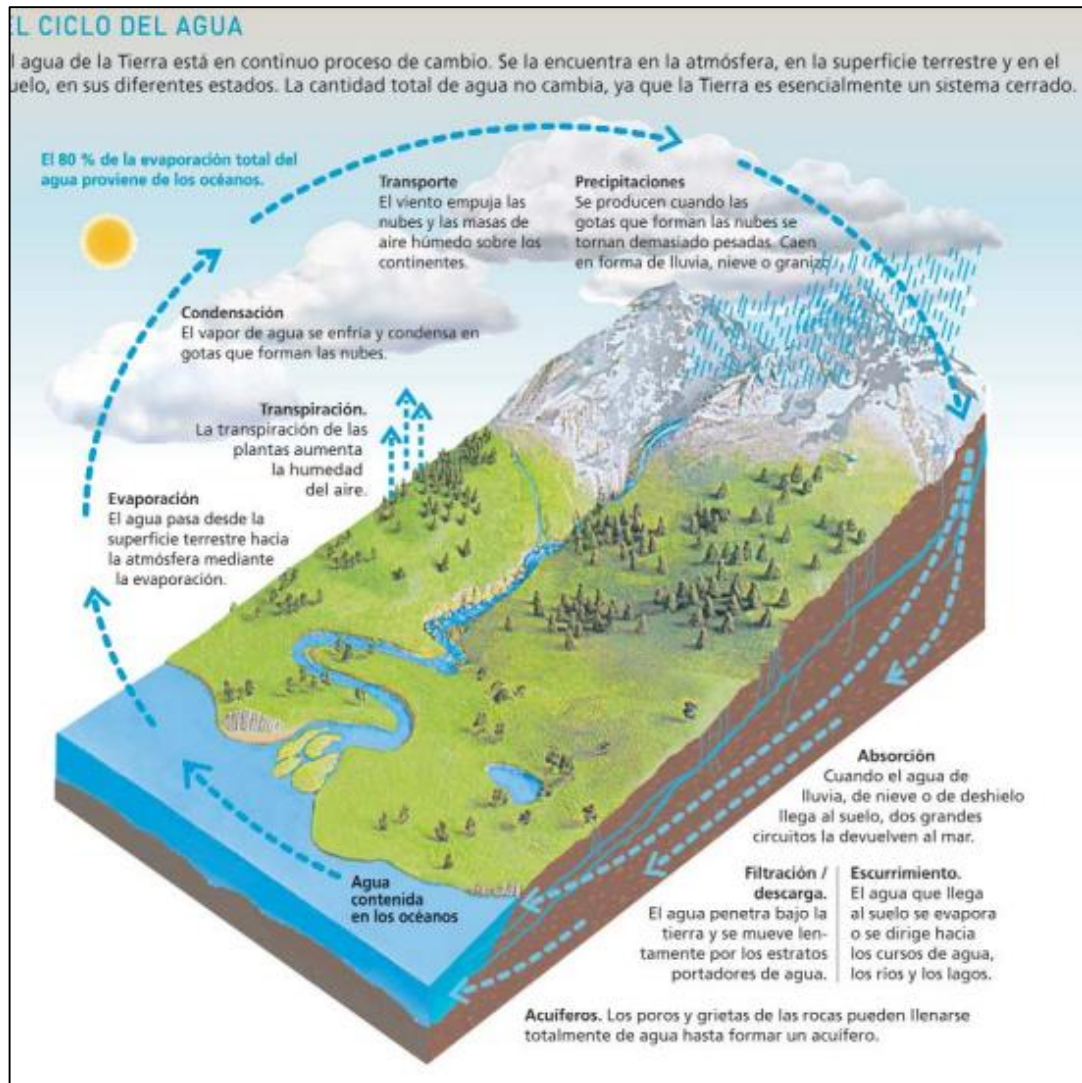
Fuente CNRH (2007)

## 2.1.1 Hidrología

### 2.1.1.1 Ciclo hidrológico

El ciclo hidrológico es muy importante, no tiene principio ni fin y sus procesos ocurren de forma continua para la conservación de agua en la Tierra. Abarca toda el agua presente sobre la superficie del planeta o debajo de ella, es decir, el agua de mar, agua dulce, agua subterránea o superficial y agua presente en las nubes que pueden convertirse en la fase de vapor pasando a la atmosfera, regresando en sus fases de líquida y sólida.

Según la Sociedad Geográfica de Lima (2011), el ciclo hidrológico involucra un proceso de transporte recirculatorio e indefinido o permanente, este movimiento del ciclo se debe fundamentalmente a dos causas: la primera, el sol que proporciona la energía para elevar el agua (evaporación); la segunda, la gravedad terrestre, que hace que el agua condensada descienda (precipitación y escurrimiento).



*Ilustración 2. Ciclo hidrológico*

**Fuente:** CONICET (2010)

El ciclo hidrológico tiene diferentes componentes que constituyen la base para el desarrollo de los ecosistemas y regiones naturales los que se detallan a continuación:

- **Precipitación**

“Se denomina precipitación, a toda agua meteórica que cae en la superficie de la tierra, tanto en forma líquida (llovizna, lluvia, etc.) y sólida (nieve, granizo, etc.) y las precipitaciones ocultas (rocío, la helada blanca, etc.). Ellas son provocadas por un cambio de la temperatura o de la presión. La precipitación constituye la única entrada principal al sistemas hidrológico continental” Musy (2005).

La precipitación directa se puede medir con pluviómetros o pluviógrafos que ayudan obtener diferentes informaciones, según la cantidad e intensidad de la precipitación, se puede medir en milímetros y décimos de milímetros.

- **Precipitación horizontal**

La precipitación horizontal es un proceso mediante el cual pequeñas gotas de vapor de agua en movimiento horizontal entran en contacto con el follaje de la cobertura forestal. A diferencia de la precipitación vertical que no está influenciada por la vegetación en términos de su monto y distribución, la precipitación horizontal está fuertemente relacionada con la presencia de bosques nublados en estado maduro. Por lo general, los bosques nublados están localizados en las porciones más altas de los sistemas montañosos en las regiones tropical y subtropical de América, África y Asia. En la región templada los bosques nublados pueden estar ubicados muy próximos a nivel del mar (Stadtmüller, 1987).

La cantidad de precipitación horizontal depende de los factores climáticos. Los bosques nubosos del Ecuador son característicos por su neblina, ocasionada por la presencia de vientos alisios que son masas de aire caliente que ascienden, enfriándose poco a poco y pasando a lugares con bastante altura.

La pérdida mayor de bosque nublado montano se debe a su transformación en tierras de pastoreo de ganado, o para la plantación de cultivos y como con frecuencia se encuentran sobre pendientes inclinadas, la erosión y los derrumbes son comunes, al

tiempo que crece la población y se degrada la tierra agrícola existente, los bosques nublados continúan siendo cortados para disponer de nueva tierra agrícola mencionados por Aldrich, M. *et al.* (2000)

La lluvia horizontal es un fenómeno natural propio de bosques nublados presentes en zonas de gran altitud presenciándose a lo largo de todo el año, provocando que las plantas realicen el proceso de condensación de humedad para luego convertirse en gotas de agua y ser atrapadas por el suelo para el consumo de la vegetación. En la precipitación horizontal la cantidad, distribución y calidad varía a comparación con la lluvia. La cantidad de precipitación depende de factores climáticos y de otros que intervienen en esta intercepción, además del tipo de bosque, como por ejemplo si es un bosque cerrado la precipitación horizontal se provoca solo en algunas partes como es el caso de los arboles aislados o los que sobresalen por encima del resto y se va deslizando sobre las copas de los arboles sin poder penetrar a los demás estratos del bosque. Mientras que en los bosques despejados la precipitación horizontal se introduce entre ellos permitiendo valores altos de agua captada (Braojos Ruiz, 2010).

- **Evaporación**

“Proceso que convierte el agua líquida en un estado gaseoso, se requiere que la humedad de la atmósfera debe ser menor que la superficie de evaporación, además de requerir grandes cantidades de energía. La mayor cantidad sale del mar, también se da en toda la superficie de la tierra donde exista agua estancada” (Thornthwaite, 1948).

“Aproximadamente el 80% del agua evaporada total proviene de los océanos, mientras que el 20% restante lo hace del agua de las regiones continentales y de la transpiración de la vegetación” (Vera & Camilloni, 2011).

Según la Sociedad Geográfica de Lima (2011), los diferentes componentes del ciclo hidrológico son:

- **Condensación**

Es el cambio de estado del agua de vapor a líquido, si es más fría que la temperatura del vapor de agua, y es llamado rocío. En la atmósfera, la condensación del vapor de agua produce las nubes.

- **Infiltración**

Es cuando se produce la precipitación del agua, que cae a la superficie de la tierra y entra hacia el suelo. Ocurre cuando las aguas procedentes de precipitaciones inician un movimiento descendente adentrándose al subsuelo alcanzando diferentes profundidades. Para poder medir la infiltración se utilizan infiltrómetros para determinar la capacidad de infiltración aplicando artificialmente agua al suelo.

- **Escorrentía superficial**

Ocurre cuando la lluvia que no es infiltrada, evaporada o interceptada y solo fluye sobre la superficie del suelo, puede ocasionar erosión de la superficie de la tierra provocando menor producción de las cosechas llevando algunos minerales consigo, transportando contaminantes que pueden ocasionar graves consecuencias como perturbación de los ecosistemas y riesgos en la salud de los seres vivos.

- **Circulación subterránea**

Se produce gracias a la gravedad y de dos formas: la primera por una forma vadosa con una circulación pendiente abajo. La segunda ocurre en los acuíferos en forma de agua intersticial por fenómenos en los que se convierte la presión y la capilaridad. Todos los procesos antes descritos vuelven a realizarse, de modo en que el agua no se puede acabar.

Un estudio de los páramos, según Tobón & Gil Morales, (2007) efectuada en Colombia, señala que casi no existen estudios para bosques nubosos y menos para páramos, por esta razón se realizó en el páramo de Colombia, como resultados indica que



el promedio anual de precipitación varía entre 500 y 300 mm, con un promedio general de 100mm, la temperatura promedio anual es inferior a los 10 °C; evapotranspiración es muy baja pero la saturación de vapor es alta, con una humedad relativa de 70 por ciento, además de la radiación difusa es alta y ultravioleta es muy intensa. La precipitación vertical suele presentarse un ingreso por medio de la intercepción del agua de la niebla, siendo muy difícil de medir por las dificultades que presenta su cuantificación y condiciones fisiográficas de alta montaña, dio como resultado no existe una tendencia general en el cambio de humedad en el suelo. La relación entre ganancia de peso de niebla y peso seco de las muestras, se encontró que el frailejón presentó una mayor capacidad para capturar agua de niebla a comparación del bosque natural y pastos.

#### ***2.1.1.2 Hidrología forestal***

Según Burbano (1989), afirma: “Hidrología forestal: es la parte de la geografía física que estudia origen, distribución y propiedades de las aguas en la naturaleza. En un sentido más amplio, estudia los fenómenos relacionados con el ciclo del agua en la naturaleza, conocido también como ciclo hidrológico”.

Como hidrología forestal es encargada de investigar el comportamiento del ciclo hidrológico con respecto a los ecosistemas forestales, así como la dinámica del mismo, con la función de almacenar el agua en los acuíferos, reducir la escorrentía proveniente de la precipitación y de otros más. Los factores y procesos que intervienen en la hidrología forestal deben ayudar a orientar al manejo de la cobertura forestal dirigida a mantener el papel regulador del bosque. Los bosques captan la precipitación considerada como la entrada del agua al ecosistema forestal. Los suelos forestales evaporan niveles muy bajos debido a las condiciones de alta humedad, baja radiación solar y reducido movimiento de aire. La transpiración y evapotranspiración por la cobertura forestal si es mayor en los bosques que en otras coberturas vegetales. Unos de los roles más importantes que desempeñan los ecosistemas forestales en el ciclo del agua lluvia alimente los acuíferos (Instituto Nacional de Bosques, 2003).

## 2.1.2 Ecología forestal

“La ecología forestal constituye hoy la base científica de la silvicultura, por cuanto permite a los silvicultores determinar el método que han de seguir para alterar lo menos posible el equilibrio natural” (Philippis, 1960).

### 2.1.2.1 Páramo

“El páramo es un ecosistema natural sobre el límite de bosque cerrado en los Andes del Norte, dominado por pajonales, rosetales, arbustales, humedales y pequeños bosquetes. Es un ecosistema de clima frío y es muy frágil a los cambios en el uso de la tierra, por lo que su potencial para el uso productivo, en términos generales, muy limitado” (Mena Vásconez & Hofstede, 2006).

Se debe considerar que el ecosistema páramo es muy frágil sobre todo cuando se hace cambios de uso de suelo, se debe tomar medidas necesarias, considerado que es un ecosistema que ayuda a la recarga hídrica de los acuíferos, para lograrlo, es necesario asegurar que se mantengan y mejoren la protección y conservación.

Estudios realizados por parte del MAE (2012), indican que, los páramos son bosques siempre verdes con alturas de 5 a 7 metros, creciendo de forma torcida por sus condiciones climáticas. Se producen parches de vegetación aislados por efecto del viento. Debido a la alta humedad ambiental los troncos de los árboles de este ecosistema están cubiertos por muchas especies de briofitas, líquenes, otras epífitas y hemiepífitas. El estrato arbóreo está compuesto por especies de los géneros *Polilepys*, *Gynoxys* y *Buddleja* variando su dominancia por su altitud u otros factores que pueden variar su desarrollo. El estrato bajo puede estar cubierto por briofitas, vegetación reducida por acción antrópica y extracción de madera.

### **2.1.2.2 Agroecosistemas**

En el Ecuador, el páramo cubre alrededor de 1 250 000 hectáreas, es decir, aproximadamente un 6 por ciento del territorio nacional (Medina & Mena, 2001). En términos relativos, el Ecuador es el país que más páramos tiene con respecto a su extensión total. Colombia tiene la mayor extensión de páramos en términos globales, mientras que los demás países los tienen en proporciones menores. Los páramos están por encima de lo que es o lo que algún día fue el ecosistema de bosques andinos, que en la actualidad es fuertemente alterado Coppus *et al.*(2001).

“Es la unidad de estudio de la actividad agrícola tomando en cuenta la agroecología de manera sistémica; es un lugar donde inciden los factores tecnológicos, socioeconómicos y ecológicos para obtener alimento y otros satisfactores del ser humano, a través del tiempo” (Clements & Hagggar,2011).

Un modelo de un agroecosistema es el cultivo del café en el Ecuador ocupa una superficie aproximada de 320 000 hectáreas con unidades productivas mayormente en manos de pequeños productores y distribuidas en 20 provincias. La exportación ha generado ingresos por 829.3 millones de dólares durante la última década y más de 130 000 familias dependen parcial o totalmente de actividades relacionadas con la producción, comercialización y procesamiento del café.

### **2.1.2.3 Interacciones ecológicas en plantaciones forestales**

Se considera como plantación forestal al bosque proveniente del cultivo de árboles con fines comerciales o de conservación. Está integrado por especies introducidas o especies autóctonas.

“Se manifiesta que las plantaciones forestales son consideradas como bosques espontáneos por su explotación, incendios y des manejo ganadero provocando que masas forestales vayan degradándose progresivamente, siendo la madera un bien renovable y sustituto de otros con mayor impacto ambiental” (Conles & Verzino, 2013).

Ecosistemas forestales constituyen uno de los principales usuarios del agua, puesto que los árboles a través del uso del agua y la fotosíntesis, producen madera, hojas, flores, frutos y semillas. Lo que no hay duda es que los ecosistemas forestales cumplen una función reguladora en los flujos hidrológicos y en la calidad del agua. Cada ecosistema genera una relación con el agua de manera diferente, de ahí que la cantidad y calidad del agua así como la regulación dependen del tipo de ecosistema forestal. (Añazco, 2013).

La conservación de una cuenca se realiza a través de una reforestación para proteger y conservar las fuentes de agua y evitar la erosión de los suelos. El Ecuador tiene una superficie terrestre de 28 356 000 hectáreas de las cuales, se estima que 14,4 millones de hectáreas de tierra son de uso preferentemente forestal, es decir, más del 50% del territorio nacional; correspondiendo a las plantaciones forestales, alrededor de 164 000 hectáreas representado el 1,14 por ciento de la superficie forestal del Ecuador. Estas plantaciones principalmente son de *Pinus* spp. y *Eucalyptus* spp., que se encuentran principalmente en la Región Sierra y Teca-*Tectona grandis* en la Región Costa, que son maderas de mayor valor comercial en el mercado mundial. En la región amazónica es más notoria la presencia de árboles en cultivo (sistemas agroforestales). Se estima que tres millones de hectáreas son tierras de uso potencial forestal, las que pueden ser cubiertas con árboles para fines de producción o protección mencionado en Ecuador Forestal (2007).

#### **2.1.2.4 Interacción árbol - pasto**

“La cantidad de luz que ingresa a las pasturas depende de la densidad de la plantación y del diámetro de las copas de los árboles. Se debe, por lo tanto, seleccionar las especies forrajeras que se desarrollan mejor bajo el dosel arbóreo” (Valarezo, 2006).

Los pastizales cubren el 20 por ciento de la superficie de la tierra. Los pastos están adaptados para crecer en una variedad de regímenes climáticos, desde el nivel del mar a las partes altas de la montaña. Las hojas de los pastos convierten la energía solar a una forma de energía utilizable por los animales y el hombre obtienen esta energía en forma de carne, en cambio los herbívoros que pastan obtienen esta energía directamente del pastoreo y de la digestión de los pastos (Owen, 2000).

El pasto es una vegetación natural consumida por diferentes animales sobre todo los bovinos, caprinos y ovinos, que ramonean para obtener energía pero el pasto es sometido a pisoteo por sus pesuñas. Los pastos protegen de la erosión del suelo por lluvias y vientos, aumenta la infiltración del agua de lluvia disminuyendo el escurrimiento, aporta materia orgánica favoreciendo el desarrollo de microorganismos y mejorando la disponibilidad de nutrientes, atenúa los cambios de temperatura, protege a la estructura del suelo por el efecto del pisoteo. Además brinda servicios ecosistémicos como secuestro de carbono, regulación del intercambio de energía entre la superficie terrestre y la atmósfera, regulación de cuencas y de gases efecto invernadero. (Saldanha, 2012).

### **2.1.3 Cuencas hidrográficas**

#### **2.1.3.1 Definición**

“Es el espacio de territorio delimitado por la línea divisoria de las aguas, conformado por un sistema hídrico que conducen sus aguas a un río principal, a un río muy grande, a un lago o a un mar” (CARE; FORGAES, 2013).

También es considerada como proceso de infiltración al penetrar el agua al suelo siguiendo diversos caminos quedando almacenada pero por medio del proceso de percolación llegando a niveles freáticos, igualmente puede moverse como escorrentía subterránea y escurrir a otra cuenca.

Otra definición dada por muchos autores es que la cuenca es una unidad físico-biológica y también en muchas ocasiones como unidad socio-económico política para la planificación y ordenación de los recursos naturales.

En el Ecuador la conformación del sistema hidrológico está delimitado por la Cordillera de los Andes, y es utilizada como divisoria de aguas, donde escurre el agua que llueve hacia las quebradas y ríos.

### ***2.1.3.2 Delimitación de una cuenca hidrográfica***

“La división de una cuenca hidrográfica se basa en una línea curva cerrada que llega al punto de captación o también conocido como salida, mediante la unión de todos los puntos altos y además de ir interceptando en forma perpendicular a todas las curvas de altitudes del plano o carta topográfica” (Faustino, 2006).

Es considerada también como una línea imaginaria que separa las precipitaciones que caen en cuencas inmediatamente vecinas y que encaminan la escorrentía resultante a uno u otro sistema fluvial. Esta línea imaginaria puede ser topográficamente o freática.

### ***2.1.3.3 Componentes de una cuenca***

Según Anaya Fernandez (2012), se conforma por:

- **Biológicos**

Los bosques, los cultivos y en general los vegetales conforman la flora, constituyendo junto con la fauna el componente biológico.

- **Físicos**

El agua, el suelo, el subsuelo, y el aire constituyen el componente físico de la cuenca.

- **Socioeconómicos**

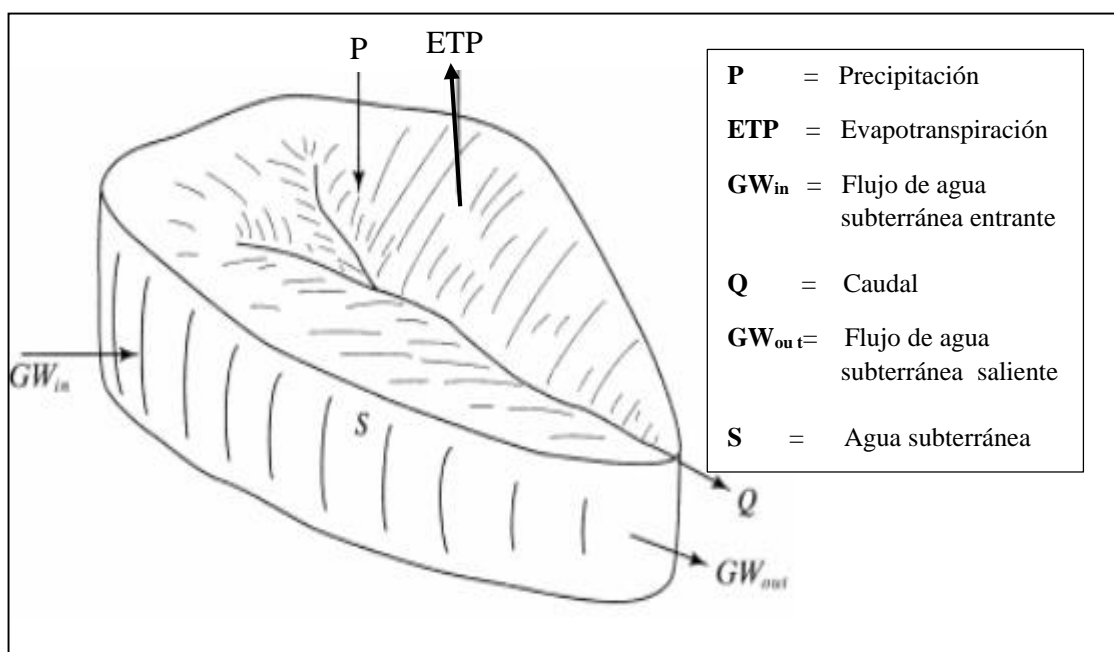
Son las comunidades que habitan en la cuenca, las que aprovechan y transforman los recursos naturales para su beneficio, construyen obras de infraestructura, de servicio y de producción, los cuales elevan nivel de vida de estos habitantes.

### ***2.1.3.4 Características morfométricas de las cuencas hidrográficas***

#### 2.1.3.4.1 Área de drenaje

“Es la proyección horizontal del área de drenaje de un sistema de escorrentía dirigido directa o indirectamente a un mismo cauce natural. El sitio que recoge toda la escorrentía que se produce en una cuenca hidrográfica se denomina punto de concentración” (Vargas Luna, 2005).

La importancia de la red de drenaje de una cuenca se basa en la cuantificación del escurrimiento, más aún cuando la información es escasa, los sistemas de drenaje se encuentra íntimamente relacionados con condiciones superficiales como son los procesos erosivos.



*Ilustración 3. Esquema de cuenca hidrográfica*

Fuente: Zapata (2015)

#### 2.1.3.4.2 Longitud del cauce

“Es la longitud del cauce principal, medida desde el punto de concentración hasta el tramo de mayor longitud del mismo” (Vargas Luna, 2005).

#### **2.1.3.4.3 Longitud de la cuenca**

“La longitud,  $L_c$ , de la cuenca puede estar definida como la distancia horizontal del río principal entre un punto aguas abajo (estación de aforo) y otro punto aguas arriba donde la tendencia general del río principal corte la línea de contorno de la cuenca” (Anaya Fernandez, 2012).

#### **2.1.3.4.4 Ancho de la cuenca**

Ibáñez Asensio *et al*, (2004) Se define como la relación entre el área y la longitud de la cuenca, se designa con la letra  $W$  de forma que:

$$W = \frac{A}{L}$$

#### **2.1.3.5 Cuenca como sistema**

“Las cuencas hidrográficas son consideradas sistemas abiertos, que reciben energía y materia de la atmósfera y procesos endogénicos y la pierde a través del caudal y la descarga de sedimentos” Gregory & Walling (1973).

En la cuenca existen entradas y salidas como comprende el ciclo hidrológico que permite cuantificar el ingreso de cantidad de agua, por medio de precipitación y otras formas provocando que una cantidad que sale de la cuenca, por medio del río principal y por sus desembocaduras. También existen interrelaciones entre sus elementos que afecta a la realización correcta del ciclo hidrológico.

#### **2.1.3.6 Zonas de recarga hídrica**

“Se denomina como recarga al proceso por el cual se incorpora a un acuífero, agua procedente del exterior del contorno que lo limita. Son varias las procedencias de esa recarga, desde la infiltración de la lluvia (la más importante en general) y de las aguas superficiales (importantes en climas poco lluviosos), hasta la transferencia de agua desde



otro acuífero, si los mismos son externos al acuífero o sistemas de acuíferos en consideración” (Custodio, 1998).

El deterioro de las zonas de recarga hídrica, la baja eficiencia del uso de este recurso, la contaminación de ríos, reservorios de agua y zonas de recarga, están causando reducción acelerada de la disponibilidad de las fuentes de agua para usos múltiples. El grado de deterioro de las zonas de recarga hídrica está determinado por el grado de erosión de los suelos, compactación y deforestación, sobre todo en zonas de pendientes muy inclinadas que favorecen a que se produzca la escorrentía. Esta situación está siendo causada por la intervención del ser humano para desarrollar sus diferentes actividades como son industriales, agrícolas y pecuarias en sitios no apropiados mencionado por (Rojas, 2011).

Los fenómenos más importantes concernientes a los acuíferos desde el punto de vista de la hidrología son la recarga y descarga de ellos. Normalmente los acuíferos se van recargando de forma natural con la precipitación que se infiltra en el suelo y en las rocas. En el ciclo hidrológico normal el agua suele entrar al acuífero en las llamadas zonas de recarga, atraviesa muy lentamente el manto freático y acaba saliendo por las zonas de descarga, formando manantiales y fuentes que devuelven el agua a la superficie descrito por Faustino (2006).

#### ***2.1.3.7 Clasificación de las zonas de recarga hídrica***

Se pueden clasificar las zonas de recarga hídrica de acuerdo al movimiento del agua en el suelo, subsuelo y manto rocoso de la siguiente manera:

##### ***2.1.3.7.1 Zonas de recarga hídrica superficial***

Prácticamente es toda la cuenca hidrográfica, excluyendo las zonas totalmente impermeables, esta es la que se humedece después de cada lluvia, originando escorrentía superficial, según las condiciones de drenaje (relieve del suelo y saturación). La medición

de este caudal se realiza en el cauce principal del río y se conoce como descarga superficial o caudal de escorrentía superficial.

#### **2.1.3.7.2 Zonas de recarga hídrica sub-superficial**

Es la que corresponde a las zonas de la cuenca con suelos con capacidad de retención de agua o almacenamiento superficial sobre una capa impermeable, que permite que el flujo horizontal en el subsuelo se concentre aguas abajo en el sistema de drenaje. Es la ocurrencia de caudales en la red hídrica, aun cuando las lluvias hayan finalizado, también dependen de la cantidad de precipitación y el efecto “esponja” del suelo (libera lentamente el agua en su movimiento horizontal). Este caudal se mide igual que en el caso anterior y puede ocurrir después de las lluvias y en épocas secas, cuando el agua proveniente es de bosques. En esta evaluación, cuando se determina la infiltración en el movimiento del agua en el suelo o subsuelo, el flujo horizontal corresponde a esta zona de recarga y el flujo vertical corresponde a la escorrentía subterránea.

#### **2.1.3.7.3 Zonas de recarga hídrica subterránea**

Es la que corresponde a las zonas de la cuenca (sitios planos o cóncavos, y rocas permeables) en el cual el flujo vertical de la infiltración es significativa; esta es la que forma o alimenta los acuíferos. Un aspecto importante en esta zonificación es la conexión entre acuíferos y la recarga externa (que viene de otra cuenca). Para la evaluación se pueden considerar dos métodos: directo (mediante sondeos, bombeos y prospección geofísica), indirecto (mediante el balance hidrogeológico).

#### **2.1.3.8 Factores que afectan la recarga hídrica**

Según Instituto Nacional de Bosques (2003), los factores que afectan la recarga hídrica son:

- **El clima:** dentro de este, los factores que más afectan la recarga hídrica son la cantidad de lluvias y la evapotranspiración, debido a la pérdida de agua por la transpiración de las plantas y la evaporación del agua.
- **El suelo:** los suelos impermeables y compactados impiden o dificultan la infiltración, mientras que los suelos permeables facilitan la recarga. Las características del suelo que influyen en la recarga son la textura, la densidad aparente, el grado de saturación (contenido de humedad) y la capacidad de infiltración.
- **La topografía:** determina el tiempo de contacto entre el agua y la superficie; las pendientes fuertes favorecen la escorrentía superficial, disminuyen el tiempo de contacto y reducen la infiltración del agua.
- **Los estratos geológicos:** la disposición de los diferentes materiales geológicos en los distintos estratos o capas del suelo hasta llegar a la zona saturada (agua subterránea) pueden afectar grandemente la cantidad de recarga hídrica.
- **La cobertura vegetal:** esta disminuye la escorrentía superficial, ya que permite un mayor tiempo de contacto del agua con la superficie y facilita el proceso de infiltración; además, un porcentaje importante de la lluvia es interceptada por la cobertura vegetal. En este factor es necesario considerar la profundidad y densidad de las raíces y la capacidad de retención del dosel vegetal.

#### **2.1.3.9 Acuífero**

Según Artinaid (2013), asegura que: un acuífero es una capa de agua que almacena en un estado rocoso ubicado en la litosfera saturando los poros o grietas existentes. El agua proviene de precipitaciones o escorrentías que percolan de la superficie a las capas freáticas, además de regularse por las áreas de recargas del acuífero que se recargan a través de procesos activos de filtración muy lentos por de larga duración que ocurre desde la superficie comparada con los procesos de una recarga que ocurren en lagos. La

renovación de las reservas de agua depende de las características físicas y químicas de las formaciones geológicas.

## **2.1.4 Restauración hidrológica**

### ***2.1.4.1 Restauración hidrológica forestal***

“La restauración hidrológica forestal es un conjunto de actuaciones necesarias para proteger el suelo ante la erosión, preservarlo frente a la sequía y las inundaciones, además de contener la capacidad de aprovechamiento de agua, contribuyendo a la mejora de la biodiversidad mitigando el cambio climático y mejorando el paisaje” mencionado por Serrada (2011).

La restauración hídrico-forestal tiene por objeto corregir el desequilibrio hidrológico ocasionado por el deterioro del suelo y la cubierta vegetal, que conllevan el inicio de procesos erosivos y fenómenos torrenciales Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio (2013).

Las técnicas de restauración forestal se aplica en cuencas hidrográficas sobre todo en lugares con mayor pendiente igual o superior a 0,2 por ciento existe peligro en deslizamientos de tierra por presencia de precipitaciones, más aun si se desencadenan con mayor intensidad afectando a la cobertura vegetal y poblaciones hacia aguas abajo por toda la cuenca.

Según Mintengui & Robredo (1994), asevera: La cubierta vegetal, fundamentalmente de los bosques y páramos representan factores estabilizadores ante la cuenca por los mecanismos torrenciales; incrementa la infiltración como efecto aumenta la porosidad del suelo; disminuye la velocidad del escurrimiento superficial; favorece el flujo superficial del agua cuando se produce precipitaciones abundantes. También es un mecanismo de defensa contra fenómenos erosivos producidos por las gotas de lluvia sobre el suelo actuando como colchón protector para que no exista erosión.

Otro argumento por la Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio(2013), manifestando que en la cuenca, la principal medida para los corregir fenómenos torrenciales es la mejora de la cubierta vegetal, para asegurar su función protectora, incide en la conservación del suelo. En terrenos en condiciones que imposibilitan el desarrollo de cubierta vegetal arbórea, se considera el matorral y su manejo. La mejora de la cubierta vegetal se puede complementar con pequeñas obras para el control de la erosión laminar y en regueros.

### **2.1.5 Balance hídrico**

“Consiste en la aplicación de una ecuación detallada de las entradas del sistema tiempo y las salidas por unidad de tiempo, ello con respectos a los diferentes componentes del ciclo hidrológico o de esorrentía” Bahamondes (2009).

Mientras que para Sánchez (2001), “Se denomina Ciclo Hidrológico al movimiento general del agua, ascendente por evaporación y descendente primero por las precipitaciones y después en forma de esorrentía superficial y subterránea”; es decir, es un proceso integral y se debe considerar que el agua es un recurso natural renovable que tiene una circulación continua y espontánea además de purificarse a sí misma en su ciclo.

Según Ordoñez Gálvez (2011), La ecuación de balance hidrológico se conoce como una ley muy importante en la Hidrología, sus términos son complicados principalmente por falta de mediciones directas en campo y por la variación espacial de la evapotranspiración y de las variaciones almacenadas en la cuenca, como respuesta a estas dificultades se presentan lo siguiente: a) Las pérdidas son bajas ,considera que la cuenca es impermeable; b) las variaciones del agua almacenada es baja en un periodo largo.

#### ***2.1.5.1 Balance hídrico superficial***

En un balance hídrico, superficial o subterráneo, es importante el área o límite de estudio para definir y cuantificar las variables de entrada y de salida, así como la variación

de volumen en el sistema considerado. En una cuenca hidrográfica una de las variables que definen el potencial del recurso hídrico superficial es el volumen de escurrimiento natural, conocido en México como volumen de escurrimiento por cuenta propia. En las variables de salida, el mayor porcentaje corresponde a los volúmenes de consumo para los diversos sectores usuarios, pero algunas veces los volúmenes de transferencia de agua entre cuencas vecinas también llegan a ser considerables.

Por otro lado, la variación de volumen en una cuenca hidrográfica llega a ser insignificante cuando no se tienen cuerpos de agua (lagos, embalses, etc.) con superficies de gran tamaño. Para Pladeyra (2003), la evaluación de los recursos hídricos de una cuenca requiere de una estimación correcta del balance hidrológico, es decir, comprender el ciclo en sus diferentes fases, la forma en que el agua que se recibe por precipitación y se reparte entre el proceso de evapotranspiración, escorrentía e infiltración.

Ordoñez Gálvez (citado por Llorens, 2003) piensa que: La ecuación de balance Hidrológico es una expresión muy simple, aunque la cuantificación de sus términos es normalmente complicada por la falta de medidas directas y por la variación espacial de la evapotranspiración, de las pérdidas profundas (en acuíferos) y de las variaciones del agua almacenada en la cuenca.

Se puede afirmar que:

- Del agua que cae en un determinado sitio (precipitación = PP)
- Parte vuelve a la atmósfera ya sea por evaporación directa o por transpiración de la vegetación (evapotranspiración = ET);
- Otra parte escurre por la superficie de la cuenca (escorrentía superficial = Esc).

#### **2.1.6 Políticas hidrológicas forestales**

“Hasta hace pocos años las políticas forestales e hidrológicas se basaban en la idea de que en todas las circunstancias hidrológicas y ecológicas los bosques representaban la

mejor cubierta vegetal para optimizar el rendimiento hidrológico, regular los caudales estacionales y garantizar una elevada calidad del agua.” (FAO, 2009).

Desde mucho tiempo atrás se ha tenido la idea de que más árboles es igual a más agua pero esto se basa en un concepto erróneo del ciclo hidrológico sobre los ecosistemas forestales, que hoy con grandes avances científicos en la presente fecha se ha dado la conclusión de que los árboles consumen una gran cantidad de agua. La cubierta de las copas de los árboles puede reducir el volumen del agua subterránea o del caudal porque realiza la evaporación y transpiración para crecer. Los bosques naturales y los plantados utilizan más agua que casi todas las cubiertas como son la agricultura y pastos por esto en algunos casos se han propuesto eliminar zonas de cubierta forestal para prevenir sequías para aumentar el rendimiento hidrológico. Sin embargo, esta política debe ser manifestada respecto a la pérdida de servicios y bienes que proporcionan los bosques, como el control de la erosión, una mayor calidad del agua, fijación de carbono, disminución de salinización, esparcimiento y otros productos forestales. Se ha sobreestimado la importancia de la cubierta forestal en la regulación del flujo hidrológico, es por eso que la eliminación parcial o total de la cubierta arbórea acelera la descarga de agua incrementando que se produzcan inundaciones durante la temporada de lluvias y sequía en la temporada seca. (FAO, 2009).

Otro argumento de FAO (2010), indica que se ha conseguido un proceso significativo en el avance de las leyes, programas y políticas forestales a nivel mundial, se considera que 143 países que poseen política forestal nacional, de ellos 76 han publicado sus declaraciones desde 2000 y 69 países sobre todo de Europa y África han declarado que las leyes han sido promulgadas o enmendadas desde el año 2005. Cerca del 75 por ciento de los bosques del mundo están cubiertos por programas forestales nacionales por un proceso participativo para la elaboración de políticas y compromisos internacionales relacionados con bosques a nivel nacional.

#### ***2.1.6.1.1 Ejemplos en el mundo***

La elaboración de una política forestal igualitaria para todos los países, es muy difícil de realizarla, para poder tomarla, es por eso que los países toman diferentes políticas hidrológicas forestales, un ejemplo muy claro es en:

En Pakistán se han realizado algunos estudios demostrando que la degradación de la vegetación de las hoya hidrográficas en la cuenca del río Indo, se provocaron en los últimos 25 años inundaciones mucho mayores que en los sesenta años precedentes, y además una grave sedimentación en los embalses, canales y obras de regadío del país, FAO (2007).

“De acuerdo con el artículo 25,1 de la Ley 6/1988, de 30 de marzo, forestal de Cataluña, España corresponde a la Administración forestal, dentro del marco de la legislación aplicable, la restauración hidrológica y forestal, mediante los trabajos que sean necesarios, particularmente los de corrección de torrentes y ramblas, los de contención de aludes, los de fijación de dunas y, en general, los destinados al mantenimiento y a la defensa del suelo contra la erosión” Generalitat de Catalunya (2015).

El eje de las acciones sobre el territorio del Plan Forestal Español comprende, como primer tipo de actuaciones, la restauración de la cubierta vegetal y la ampliación de la superficie arbolada mediante la restauración hidrológico-forestal, teniendo cabida dentro de este concepto acciones tales como repoblaciones forestales protectoras, corrección de cauces torrenciales y trabajos de conservación y mejora de la cubierta vegetal.

Como ejemplo se conoce la reforestación de las cuencas mediterráneas del Alt Empordá en el año 2009 ejecutándose un proyecto que consiste aumentar la cubierta arbórea, prevenir los incendios forestales y controlar parte de la erosión del suelo existente. Realizándose con el consorcio de Departament d'Agricultura, Ramaderia, Pesca, Alimentació i Medi Natural, en los términos municipales de Llançà y Colera. Los montes fueron afectados de forma importante por el incendio del 6 al 8 de agosto de 2000. Históricamente, es una zona de recurrencia elevada de incendios forestales, y el riesgo de incendios en esta zona acostumbra a ser alto buena parte del año por el efecto del viento de tramuntana. El ámbito de los montes es de 796 ha y los trabajos previstos en el proyecto



global afectan 677 hectáreas. Se prevén trabajos silvícolas (185,74 ha); franjas cortafuegos (219,82 ha) y franjas de protección en caminos (45,28 ha); repoblaciones (225,9 ha), y arreglo y construcción de pistas (37,54 km), reparación de un punto de agua, estudio y seguimiento de la tortuga mediterránea, y medidas de seguridad y salud, Generalitat de Catalunya (2015).

#### **2.1.6.1.2 Ejemplos en el Ecuador**

La ausencia de políticas explícitas en el manejo de cuencas hidrográficas nacionales para la gestión del agua hace que todo quede olvidado y no se realice un desarrollo considerable, en ocasiones se presentan casos que cada subsector encargado de los recursos hídricos tienen sus propias políticas y a veces contradictorias entre ellas, ocasionando que no se pueda realizar una correcta ejecución de proyectos para el desarrollo del país. Pero existen excepciones que puede desarrollar este tema por medio de organismos que les interesa de este tema muy fundamental. A continuación un ejemplo de ello:

La prefectura de la provincia de Los Ríos está realizando planes de reforestación de cuencas hidrográficas en la provincia para evitar el debilitamiento de las cuencas de los mayores afluentes, provocando por la tala masiva de los árboles, para esto se ejecuta el proyecto de Reforestación y Conservación de la cuenca hidrográfica de los afluentes de la provincia, para evitar la erosión en las orillas de los cauces y mantener la fertilidad de los suelos. “El proyecto que inició en los cantones de la zona sur, fue replicado para los cantones ubicados al norte de la provincia. Para el efecto, el coordinador zonal de la Prefectura, entregó cerca de 500 plantas de caña guadúa a los moradores del sector de La Victoria, del cantón Mocache.” (Prefectura de Los Ríos, 2014)

Según la Constitución Política del Ecuador, (2008) explica que existen leyes que ayudan a la preservación de las cuencas hidrográficas, como son:

El Capítulo siete, derechos de la naturaleza, Art.72: La naturaleza tiene derecho a la restauración. Esta restauración será independiente de la obligación que tienen el Estado y

las personas naturales o jurídicas de indemnizar a los individuos y colectivos que dependan de los sistemas naturales afectados.

Art.73: El Estado aplicará medidas de precaución y restricción para las actividades que puedan conducir a la extinción de especies, la destrucción de ecosistemas o la alteración permanente de los ciclos naturales.

También, el capítulo segundo biodiversidad y recursos naturales, sección sexta, Art. 411: El Estado garantizará la conservación, recuperación y manejo integral de los recursos hídricos, cuencas hidrográficas y caudales ecológicos asociados al ciclo hidrológico. Se regulará toda actividad que pueda afectar la calidad y cantidad de agua, y el equilibrio de los ecosistemas, en especial en las fuentes y zonas de recarga de agua. La sustentabilidad de los ecosistemas y el consumo humano serán prioritarios en el uso y aprovechamiento del agua.

- Plan Nacional del Buen Vivir: 2013 - 2017; Implementar políticas que incentiven la conservación, restauración y mantenimiento del patrimonio natural:

Investigación para la restauración, reparación, rehabilitación y mejoramiento de ecosistemas naturales y la estructura de cuencas hidrográficas.

Acciones de manejo integral de tierras y cuencas hidrográficas que impulsen su conservación y restauración con tecnologías apropiadas y ancestrales.

-Ley orgánica de recursos hídricos usos y aprovechamiento del agua. Según el título 1 disposiciones preliminares, capítulo 1 de los principios, decreta que:

**Art 1.- Naturaleza jurídica.** Los recursos hídricos son parte del patrimonio natural del Estado y serán de su competencia exclusiva, la misma que se ejercerá concurrentemente entre el Gobierno Central y los Gobiernos Autónomos Descentralizados, de conformidad con la Ley. El agua es patrimonio nacional estratégico de uso público, dominio inalienable, imprescriptible, inembargable y esencial para la

vida, elemento vital de la naturaleza y fundamental para garantizar la soberanía alimentaria.

**Artículo 6.- Prohibición de privatización.** Se prohíbe toda forma de privatización del agua, por su trascendencia para la vida, la economía y el ambiente; por lo mismo esta no puede ser objeto de ningún acuerdo comercial, con gobierno, entidad multilateral o empresa privada nacional o extranjera. Su gestión será exclusivamente pública o comunitaria. No se reconocerá ninguna forma de apropiación o de posesión individual o colectiva sobre el agua, cualquiera que sea su estado.

Título II recursos hídricos, capítulo 1 definición, infraestructura y clasificación de los recursos hídricos.

**Artículo 10.-** Dominio hídrico público. El dominio hídrico público está constituido por los siguientes elementos naturales: a) Los ríos, lagos, lagunas, humedales, nevados, glaciares y caídas naturales; b) El agua subterránea; c) Los acuíferos a los efectos de protección y disposición de los recursos hídricos; d) Las fuentes de agua, entendiéndose por tales las nacientes de los ríos y de sus afluentes, manantial o naciente natural en el que brota a la superficie el agua subterránea o aquella que se recoge en su inicio de la escorrentía.

## **2.1.7 Estudios relacionados**

### ***2.1.7.1 Regulación hídrica bajo tres coberturas vegetales en la cuenca del río san Cristóbal, Bogotá D.C.***

Las temperaturas ambiente según los informes de la estación climatológica Vitelma, situada cerca al río San Cristóbal a los 2800 msnm, como la más próxima al área en estudio oscilan entre los 8,8 y 15,9 °C, con una media de 13,2 °C el clima de la zona oscila entre dos periodos secos, de diciembre a marzo y en septiembre; y dos húmedos de abril a agosto y de octubre a noviembre y registra una precipitación media anual de 1224mm.

Los balances hídricos bajo las tres coberturas vegetales, visto desde la evapotranspiración real y del agua gravitacional de aporte a las aguas subterráneas bajo cada cobertura vegetal, partiendo de que se trata de suelos similares, dio como resultado una mayor capacidad para la cobertura de bosque nativo, luego para el bosque de ciprés y finalmente para el bosque de eucalipto.

El almacenamiento en la capa superior del suelo, resultó ser mayor bajo la cobertura de eucalipto (686 mm), pero si se observan los valores de la precipitación que llegaron al suelo, fue precisamente bajo esta misma cobertura que se recibió el mayor valor (858 mm), mientras que bajo ciprés fue de 677 mm. y bajo bosque nativo apenas de 627 mm.

Las diferencias en cuanto a la precipitación interna y la interceptación bajo los tres tipos de bosque dependen de la densidad del mismo, ya que en este aspecto están bien diferenciados, por lo cual para considerar los demás aspectos que incluyen se debe investigar bajo las mismas condiciones del bosque.

De acuerdo a la densidad de bosque se encontró que éste es menos denso bajo cobertura de eucalipto cuya interceptación es de 33,6 %, en comparación con las densidades de los bosques de ciprés y nativo, con interceptaciones de 47,3% y 55,2 % respectivamente.

Se encontró una condición más desfavorable al balance hídrico y que se llega a relejar en una menor regulación de caudales, bajo cobertura de eucalipto. Sin embargo esta diferenciación no es demasiado significativa para el orden de magnitud de las microcuencas.

En cuanto a los balances hídricos de micro cuencas, el mejor comportamiento se presentó en la microcuenca de la cobertura de bosque nativo.

En cuanto a los regímenes de caudales de las corrientes la microcuenca de la quebrada La Upata, mostró las mayores variabilidades de caudal y arrastre de sedimentos, con connotaciones de torrencialidad.

La relación entre el balance y la regulación hídrica se encontró que existe una importante concordancia, de la cual se apreció que hay una mejor condición de sostenibilidad del régimen de caudales en la microcuenca de la quebrada La Osa, donde se observó unas mejores condiciones de almacenamiento de aguas infiltradas cuando profundizan, denominadas de agua gravitacional.

En general las lluvias que se presentaron sobre las tres coberturas y sobre las microcuencas no tuvieron gran variación, por lo cual en este aspecto son comparables los resultados. Aunque no fue objeto de esta investigación, es importante aclarar que existen diferencias en los tipos de suelos bajo las tres coberturas, aunque no son la razón principal que marca una diferenciación en el comportamiento del balance hídrico, sino que cada tipo de bosque impone unas condiciones diferentes del desempeño del suelo frente a las lluvias, la escorrentía, la infiltración y la percolación profunda.

#### ***2.1.7.2 Balance hídrico en plantaciones jóvenes de *Eucalyptus globulus* y *Pinus radiata* en el sur de Chile***

El sitio experimental estuvo situado en el predio Huape Tres Esteros, distante 20 km al norte de la ciudad de Valdivia, donde se seleccionaron una parcela de *Pinus radiata* de 2,65 hectáreas plantada en 1990 y una parcela de *Eucalyptus globulus* de 6,67 hectáreas plantada en 1992. La zona posee un clima templado lluvioso con influencia mediterránea, con una temperatura promedio anual de 12 °C y una precipitación promedio anual de 2 300 mm, siendo febrero el mes más seco con 60 mm y julio el más húmedo con 400 mm.

En la plantación de *Eucalyptus globulus*, la precipitación directa representó entre 97,0% y 92,7 % de la precipitación incidente, mientras que en la plantación de *Pinus radiata* los valores anuales fluctuaron entre 93,4 % y 89,5. El escurrimiento fustal constituyó 4,9 % en *P. radiata* y solamente 0,4 % en *E. globulus*. Esta notable diferencia

puede ser atribuida a la verticalidad y convergencia de las ramas al tronco principal, que en *Pinus radiata* ha sido especialmente destacada en árboles jóvenes. Las pérdidas por intercepción, estimadas como la diferencia entre la precipitación incidente y la precipitación que llega al suelo (precipitación neta), representaron un promedio anual de 4,4 % en *E. globulus* y 3,8 % en *P. radiata*. Durante el período de estudio, los porcentajes de intercepción anual aumentaron paulatinamente en las dos plantaciones, debido al crecimiento de los árboles lo que se tradujo en una mayor superficie de suelo cubierta por la proyección de sus copas.

## **CAPÍTULO III**

### **MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **3.1 UBICACIÓN DEL ESTUDIO**

##### **3.1.1 Política**

El estudio se realizó en los sectores de Preñadillas en una plantación forestal de *Eucalyptus globulus* y Chitacaspi en una cobertura vegetal de pasto cultivado, Parroquia San Isidro del Cantón Espejo, ubicado a 78,4 km al Cantón Tulcán Provincia del Carchi.

##### **3.1.2 Geográfica**

El sector de Preñadillas se delimitó con coordenadas UTM: 835340E y 10069072 N, con una altitud de 3009 – 3346 m.s.n.m. y Chitacaspi 835476 E y 10067769 N con una altitud entre 3108 – 3091 m.s.n.m. (*Ver figura 2 - anexo 1*).

#### **3.2 BIOFÍSICA**

##### **3.2.1 Datos climáticos**

En la tabla 1 se indican los datos climáticos de la Parroquia San Isidro, Cantón Espejo, este pueblo se caracteriza por presentar máximos lluviosos en los meses de marzo a noviembre constituyendo un régimen de precipitaciones interanual de distribuciones bimodal. La variación de la temperatura ocurre por diferencias de altitud sobre el nivel del mar.

**Tabla 1.** Datos climáticos

<b>PARÁMETRO</b>	<b>DATOS CLIMÁTICOS</b>
Formación vegetal (MAE, 2014)	Bosque Siempre Verde Montano Alto
Temperatura máxima anual	19,3°C
Temperatura mínima anual	4,8 °C
Temperatura promedio anual	10,8°C
Heliofanía	129,7
Precipitación media anual	1100 mm
Humedad relativa	80%

**Fuente:** INAMHI (2010)

### 3.2.2 Geología

De acuerdo a la carta geológica de Ibarra (SIN, 2013) la geología del área de influencia presentó texturas de suelo franco arcillo arenoso y dos tipos de formaciones (tabla 2); volcánicos Pisayambo y volcánicos del Iguan con una litología de flujos de lava; piroclásticos andesíticos ariolíticos y un tipo de roca dura, roca suave, según se observa en el mapa Geológico del área de estudio. (Ver figura 4 - anexo 2).

**Tabla 2.** Suelo

<b>ORIGEN</b>	<b>PIROPLÁSTICOS ANDESÍTICOS</b>
TEXTURA	FRANCO ARCILLO ARENOSO
CARACTERÍSTICAS	Suelo fértil, buenas reservas de nutrientes, mantienen la humedad a pesar de drenar libremente

**Fuente:** Laboratorio de suelos PUCESI-IBARRA



### 3.2.2.1 Descripción del uso de suelo

Según la información de Uso del Suelo y Cobertura Vegetal del SIN (2013), en la tabla 3, se presenta la descripción y porcentaje para cada uso del suelo del área de influencia de las dos microcuencas.

**Tabla 3.** Uso del suelo

Uso	Descripción	Área %
<b>Bn</b>	70% bosque natural	3,65
<b>Cd-C</b>	50% cereales y 50% cultivo de perennes	0,69
<b>Cd/C</b>	70% cultivo de cereales y 50% cultivo de maíz	0,28
<b>Cd/Pc</b>	70% cultivo de cereales y 30% pasto cultivado	0,44
<b>Cp</b>	Cultivos perennes	0,04
<b>Pc</b>	Pasto cultivado	0,47
<b>Pr</b>	Páramo	0,52
<b>Va</b>	Vegetación arbustiva	0,61
<b>Va/Pc</b>	70% Vegetación arbustiva y 30% pasto cultivado	0,37

Fuente: SNI (2013)

El Cerro Iguan tiene presencia de 70% de bosque natural, páramo y plantación de pino, con vida silvestre, abastecimiento de agua y fines estéticos, turísticos. La utilización del suelo es para cultivos perennes mientras que existe pasto cultivado con un área de 0,47%. (Ver figura 5 - anexo 3).

### 3.2.3 Biodiversidad

En la microcuenca de plantación forestal se encontró una composición florística variada, con mayor dominancia la especie introducida *Eucalyptus globulus* (Eucalipto), y de especies nativas *Oreopanax ecuadorensis* (pumamaqui), *Alnus acuminata* (aliso) y *Polylepis racemosa* (árbol de papel).

### 3.2.4 Hidrología

La Cuenca alta del Río Mira se compone de una serie de quebradas, que se originan de áreas boscosas y zonas de páramo de la cordillera occidental y estribaciones. En la clasificación hidrológica del sector se elaboró el mapa de división de microcuencas del área de estudio (Ver figura 6 - anexo 4), encontrándose la Cuenca alta del Río Mira, subcuenca Río El Ángel y microcuenca Preñadillas con un área de 843,19 hectáreas en el sector de la plantación forestal y la otra microcuenca en Chitacspi con un área de 466,92 hectáreas.

#### 3.2.4.1 Agua subterránea

La contribución de agua se debe a la recarga hídrica cercana, en este caso el cerro Iguan, donde se originan varios cursos de agua que suplen a los acueductos por gravedad, manteniendo el acuífero de Preñadillas.

### 3.2.5 Características socioeconómicas

#### 3.2.5.1 Demografía

##### 3.2.5.1.1 Población

Se compara las dos poblaciones según los datos de los Planes de Ordenamiento Territorial del Cantón Espejo y del cantón Mira.

**Tabla 4.** Demografía

<b>Cantón</b>	<b>Población 2001</b>	<b>Población 2010</b>
<b>Mira</b>	12 919	12 180
<b>Espejo</b>	13 515	13 364

Fuente: PDOT Espejo (2014)

En los dos cantones existe un déficit de crecimiento poblacional a comparación con el año 2001 según datos del INEC, debido a migraciones internas o nacionales, para movilizarse a realizar diferentes actividades diarias al subsistir entre las más indispensables se tiene: salud, educación y empleo.

### 3.2.5.1.2 Pobreza

**Tabla 5.** Pobreza índice de necesidades básicas insatisfechas

<b>POBREZA CANTÓN 2010</b>	<b>CANTÓN</b>	<b>TOTAL%</b>	<b>URBANO%</b>	<b>RURAL%</b>
	<b>Mira</b>	74,7	25,21	49,49
	<b>Espejo</b>	64	42	75

Fuente: INEC 2010

La situación de necesidades básicas insatisfechas en los dos cantones sobrepasa, sobre todo, en la zona rural donde existe incidencia de pobreza muy alta llegando casi al 50% del total de habitantes. Se debe mejorar la calidad de vida para los pobladores de estos cantones atendiendo las necesidades básicas que demanda el territorio.

### 3.2.5.1.3 Servicios básicos

**Tabla 6.** Matriz para descripción de servicios básicos

	<b>Hab.</b>	<b>%</b>	<b>Hab./km<sup>2</sup></b>	<b>Población</b>	
<b>ASENTAMIENTO HUMANO</b>	<b>POBLACIÓN</b>	<b>AGUA POTABLE</b>	<b>ALCANTARILLADO</b>	<b>SERV. ELECTRICO</b>	<b>DESECHOS SÓLIDOS</b>
<b>Mira</b>	12 180	60,91	51,79	96,08	55,80
<b>Espejo</b>	13 364	56,01	76,9	98,18	75,73

Fuente: INEC 2010

Estos resultados permiten dimensionar la calidad y capacidad instalada de las infraestructuras y servicios que habilitan este territorio. Este cuadro indica la cobertura general de los servicios básicos de acuerdo a la población demográfica se tiene que:

El agua potable según datos oficiales del censo nacional de población y vivienda 2010 del Instituto Nacional de Estadísticas y Censos INEC, las viviendas en su gran mayoría tienen conexión del agua a través de tubería ya sea dentro o fuera del inmueble.

El cantón Mira cuenta con un sistema de alcantarillado con un porcentaje de 55,80%, puesto que en las comunidades y algunos barrios del cantón las descargas se las realiza en pozos ciegos, pozos sépticos, entre otras; lo que induce a la contaminación de acequias y quebradas. Por otra parte, el Cantón Espejo ha implementado el alcantarillado con un porcentaje de 76,9% en la zona urbana, mientras que, en la zona rural solo una pequeña parte no la posee.

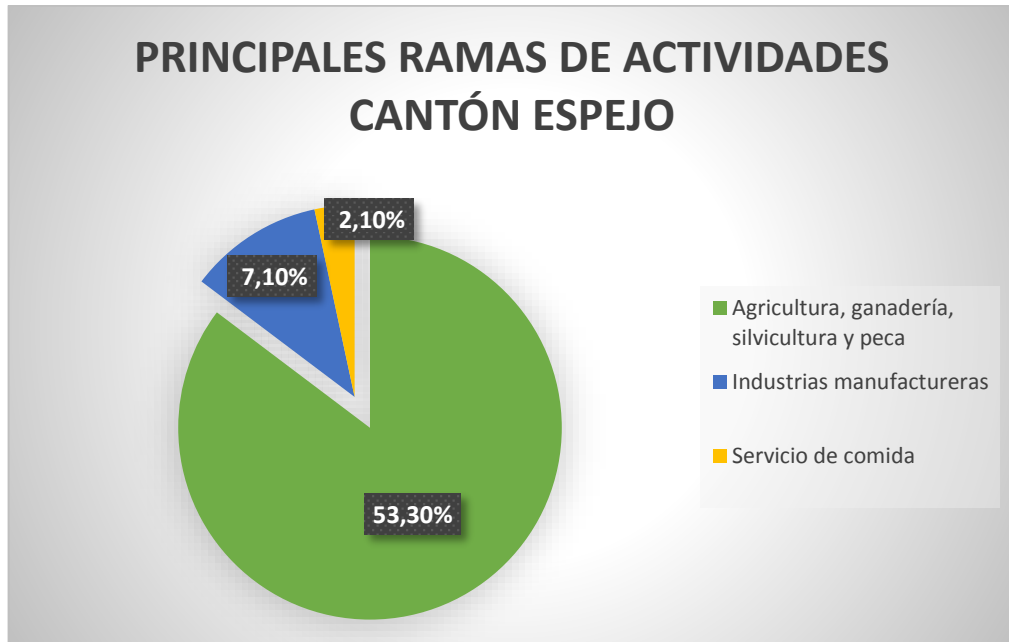
Servicio eléctrico, en cuanto a este sistema de conexión eléctrica los habitantes tienen un déficit menor al cinco por ciento, siendo un valor muy pequeño a comparación a otros cantones.

El manejo de los residuos sólidos en esta cuenca hidrográfica tiene un modelo nuevo, en donde se clasifican los desechos orgánicos para la elaboración de humus y compostaje, e inorgánicos sacando los desechos que se puedan reciclar. La producción de residuos en el Cantón Mira es baja, con un peso aproximadamente de 6,3 Toneladas de basura al día; según datos del Gobierno Autónomo Descentralizado de Mira, mientras que en el Cantón Espejo se recolecta 3,4 toneladas por día en el sector urbano y 3,49 Toneladas por día en el sector rural.

#### **3.2.5.1.4 Producción**

Se observa que en los dos cantones la principal actividad es la agricultura, ganadería, silvicultura y pesca con 53,30% incrementando en el sector rural, el trabajo agrícola demanda más horas laborables que las cuarenta horas oficiales y de 7,10% de industrias

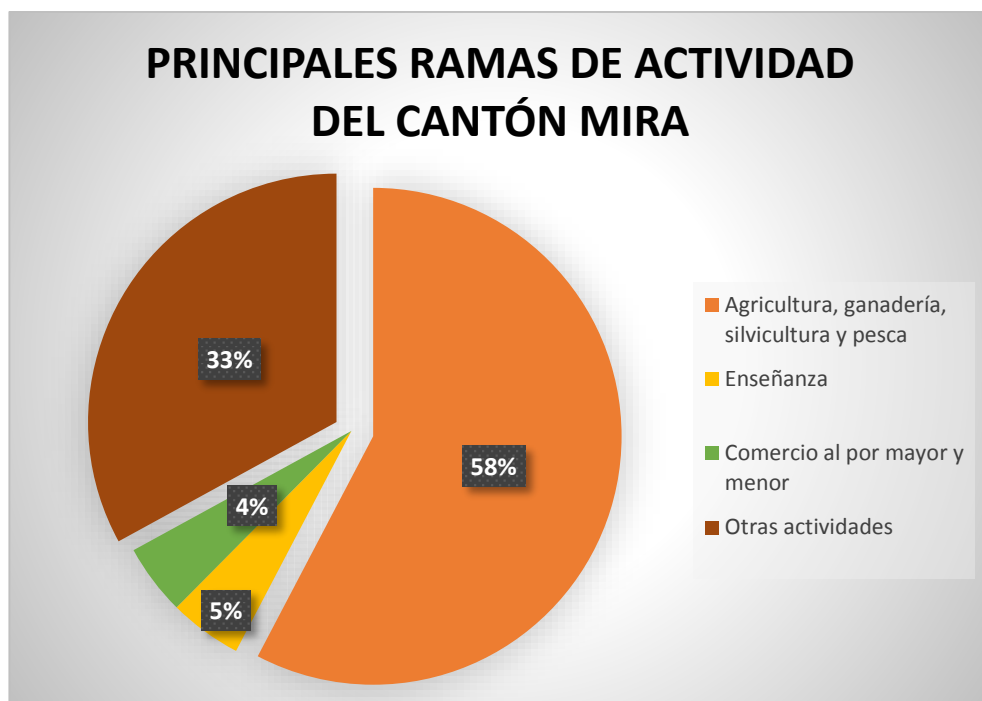
manufactureras, de acuerdo con el gráfico 3 bajo en el nivel cantonal, pero indica que existirá un incremento en las actividades del sector terciario que significa que hay un importante desplazamiento de población rural al sector urbano.



*Gráfico 3. Principales ramas de actividades del Cantón Espejo*

**Fuente:** INEC (2010)

El Cantón Mira se dedica a la agricultura, ganadería, silvicultura y pesca, y el 4,60% son comerciantes al por mayor y menor y el 4,74% se ocupan de a la enseñanza para la categoría de otras actividades representando el 32,97% se encuentra: transporte, administración pública e industrias manufactureras, detallándose en el siguiente gráfico:



*Gráfico 4. Ramas de actividad del cantón Mira*

Fuente: INEC (2010)

### 3.2.6 Gobernabilidad

La gobernabilidad de la investigación se enfoca en el manejo del recurso agua, involucrándose instituciones gubernamentales y no gubernamentales como se describen en la tabla 7.

**Tabla 7.** Gobernabilidad del agua

INSTITUCIONES	INSTITUCIONALIDAD DEL AGUA
PREFECTURA DEL CARCHI	Jurisdicción de manejo de cuencas hidrográficas
MINISTERIO DEL AMBIENTE	Manejo de áreas protegidas
SECRETARIA NACIONAL DEL AGUA	Concesiones de caudales de agua
INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA	Información hidrometeorológica de las cuencas

Continuación.../...

Continuación.../...	
GAD-S (MIRA - ESPEJO)	Plan de ordenamiento territorial
JUNTA PARROQUIAL SAN ISIDRO	Plan de ordenamiento territorial y concesiones de agua

**Elaborado por:** Erika Magaly Pule Mejía

### **3.3 MATERIALES DE CAMPO**

#### **3.3.1 De campo**

- Tubos PVC  $\frac{3}{4}$ .
- Codos para tubos PVC  $\frac{3}{4}$ .
- Botellas plásticas.
- Libreta de campo para toma de datos.
- Recipiente para recolección de suelo.
- Frascos para recolección de agua.
- Fundas para recolección de vegetación.
- Datos meteorológicos (precipitación, temperatura, evapotranspiración).

#### **3.3.2 De oficina**

- Software ArcGis 10.2.
- Software HIDRUS 1D.
- Útiles de escritorio.

#### **3.3.3 Equipos**

- Navegador GPS.
- Sensores Watermark (importado).

- Infiltrómetro de césped- Tec (importado).
- Pluviómetro (importado).
- Barreno.

### **3.4 METODOLOGÍA**

#### **3.4.1 Delimitación del área de estudio**

La investigación se realizó en el sector de Preñadillas con las coordenadas y cotas del área analizada, también se utilizó imágenes aero transportadas del proyecto SIGTIERRAS (2011), toda esta información fue analizada en el software ArcGis 10.2.

#### **3.4.2 Inventario florístico**

Se efectuó un inventario florístico de los dos agroecosistemas (plantación forestal y pasto cultivado) utilizando el método de transectos que se detalla a continuación.

##### ***3.4.2.1 Inventario plantación forestal***

- La plantación forestal ubicada en el sector de Preñadillas tiene una extensión menor a una hectárea.
- Se trazó un transecto de 100m de largo por 5m de ancho, (500m<sup>2</sup>) en el que se colecto muestras botánicas de las especies arbóreas, arbustivas y herbáceas (*Ver figura 7 - anexo 5*).
- Primero se direccionó con una brújula al nortoste colocando un tubo PVC  $\frac{3}{4}$  pintado la punta de color rojo en el punto de inicio.
- Se abrió una trocha, midiendo cada 20m distancias horizontales ubicando estacas como referencias hasta completar el transecto.



- Se tomó puntos GPS al principio y al final del transecto para posteriormente elaborar el mapa.
- Para la recolección de muestras se consideró una distancia de 2,50m de la línea base, hacia la derecha e izquierda colectando los especímenes encontrados.
- Las muestras colectadas se llevaron al Herbario de la Universidad Técnica del Norte para su respectiva identificación.

#### **3.4.2.2 *Inventario pasto cultivado***

- El pasto está ubicado en el sector de Chitacspi con un área de 500m<sup>2</sup>.
- Se trazó un transecto de 10m de largo por 5m de ancho (50m<sup>2</sup>) en el que se colectó muestras botánicas de las especies herbáceas (*Ver figura 8 - anexo 6*).
- Primero se direccionó con una brújula al nortoste colocando un tubo PVC ¾ pintado la punta de color rojo en el punto de inicio.
- Se tomó una parcela, se dividió en cuadrículas para identificar las especies herbáceas.
- Se tomó puntos GPS al principio y al final del transecto para posteriormente elaborar el mapa.
- Las muestras colectadas se llevaron al Herbario de la Universidad Técnica del Norte para su respectiva identificación.

#### **3.4.3 Balance hídrico**

Para el procesamiento de datos del balance hídrico se determinó diferentes factores que se describen a continuación:

##### **3.4.3.1 *Modelo hidrológico***

Se realizó con el software Hydrus - 1D (PC- Progress, 2015), para simular el flujo de agua unidimensional, el movimiento de solutos en insaturados, parcialmente saturados o

medios porosos totalmente saturados. Este software utiliza la ecuación de Richards (1931), para simular la variable del suelo no saturado en función a la humedad:

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial \left[ K(\theta) \left( D(\theta) \frac{\partial \theta}{\partial z} - 1 \right) \right]}{\partial z}$$

**Fuente:** Richards (1931)

En donde:

T = Tiempo.

Z = Profundidad tomada como positiva hacia abajo con  $z = 0$ .

$\theta$  = Contenido de humedad en el suelo.

K = Conductividad del medio poroso.

El suelo no saturado, se describió utilizando la metodología de van Genuchten (1980), Brooks y Corey (1964), Cislervá (1988) y Dunner (1994) y las funciones analíticas de tipo van Genuchten modificado, para mejorar las descripciones de las propiedades hidráulicas cerca de la saturación.

#### **Fórmula de Van Genuchten (1980)**

$$\theta(h) = \begin{cases} \theta_r + \frac{\theta_s - \theta_r}{[1 + |\alpha h|^n]^m} & h < 0 \\ \theta_s & h \geq 0 \end{cases}$$

**Fuente:** Van Genuchten (1980)

En donde:

$\theta(h)$  = Curva de retención de agua.

- h = Presión de succión.
- $\theta_s$  = Parámetro en función de la retención de agua del suelo [ $L^3L^{-3}$ ].
- $\theta_r$  = Contenido de agua residual.
- $\alpha$  = Relación con la inversa de la entrada de aire de succión  $\alpha > 0$ .

**Fórmula Brooks y Corey (1964)**

$$S_e = \begin{cases} |\alpha h|^n & h < -1/\alpha \\ 1 & h \geq -1/\alpha \end{cases}$$

$$K = K_s S_e^{2/n+1+2}$$

**Fuente:** Brooks y Corey (1964)

En donde:

- H = Presión de succión.
- $K_s$  = Conductividad hídrica saturada [-].
- $\alpha$  = Relación con la inversa de la entrada de aire de succión  $\alpha > 0$ .
- $S_e$  = Saturación efectiva.

**Fórmula de Cislerová (1988) y Dunner (1994)**

$$\theta(h) = \begin{cases} \theta_a + \frac{\theta_m - \theta_a}{(1 + |\alpha h|^n)^m} & h < h_s \\ \theta_s & h \geq h_s \end{cases}$$

**Fuente:** Cislerová (1988)

En donde:

- $\theta$  = Contenido de humedad en el suelo.
- $\theta_\alpha$  = Parámetro en función de la retención de agua del suelo [L3L - 3].
- $\theta_m$  = Parámetro de la función de retención de agua del suelo [L3L - 3].
- $\theta_s$  = Contenido de suelo saturado.
- $h$  = Carga de presión.
- $\alpha$  = Función de respuesta al estrés hídrico sin dimensión [-].

$$K(h) = \begin{cases} K_s K_r(h) & h \leq h_k \\ K_k + \frac{(h - h_k)(K_s - K_k)}{h_s - h_k} & h_k < h < h_s \\ K_s & h \geq h_s \end{cases}$$

$$K_r = \frac{K_k}{K_s} \left( \frac{S_e}{S_{ek}} \right) \left[ \frac{F(\theta_r) - F(\theta)}{F(\theta_r) - F(\theta_{kr})} \right]^2$$

$$F(\theta) = \left[ 1 - \left( \frac{\theta - \theta_\alpha}{\theta_m - \theta_\alpha} \right)^{1/m} \right]^m$$

$$S_{ek} = \frac{\theta_k - \theta_r}{\theta_s - \theta_r}$$

**Fuente:** Dunner (1994)

En donde:

- $K$  = Conductividad hidráulica no saturada del suelo [LT - 1].
- $K_r$  = Conductividad relativa del suelo [-].
- $K_s$  = Conductividad hídrica saturada [-].
- $S_e$  = Saturación efectiva.
- $H$  = Carga de presión.
- $S_{ek}$  = Saturación eficaz en  $\theta_k$  [-].

La aplicación de este software se puede realizar incorporando parámetros desconocidos que se estimaron a partir de los datos observados como; precipitación, evapotranspiración, tensión de agua en el suelo, flujo de vapor, entre otros. Hydrus -1D brinda gráficos de la distribución de la carga de presión, contenido de agua, flujos de agua y de soluto, absorción de agua de la raíz, temperatura y la concentración en el perfil del suelo.

### 3.4.3.2 Variables del modelo

- a) Precipitación:** Se registró mediante la implementación de un pluviómetro de 24 cm, colocado en una viga de 1,30 m de alto y ubicado en la plantación forestal, en un lugar despejado para que no interfiera con la recolección de datos.
- b) Evapotranspiración potencial:** aplicando la fórmula Hargreaves y Samani (1985), se necesita solamente datos de temperatura y radiación solar.

$$E_{to} = 0,0135(t_{med} + 17,78)R_s$$

En donde:

$E_{to}$  = Evapotranspiración potencial diaria, mm/ día.

$t_{med}$  = Temperatura media °C.

$R_s$  = Radiación solar incidente convertida en mm/ día.

Radiación solar incidente  $R_s$ : Samani (2000) propone la siguiente formula:

$$R_s = R_0 * K_T * (t_{max} - t_{min})0,5"$$

En donde:

$R_s$  = Radiación solar incidente.

$R_0$  = Radiación solar extraterrestre (tabulada).

$KT$  = Coeficiente.

$t_{max}$  = Temperatura diaria máxima.

$t_{min}$  = Temperatura diaria mínima.

$R_0$  = Se evalúa a partir de la radiación solar extraterrestre (la que llega a la parte exterior de la atmósfera), se lee en las tablas en función de la latitud del lugar y el mes estimado.

**Tabla 8.** Radiación solar extraterrestre

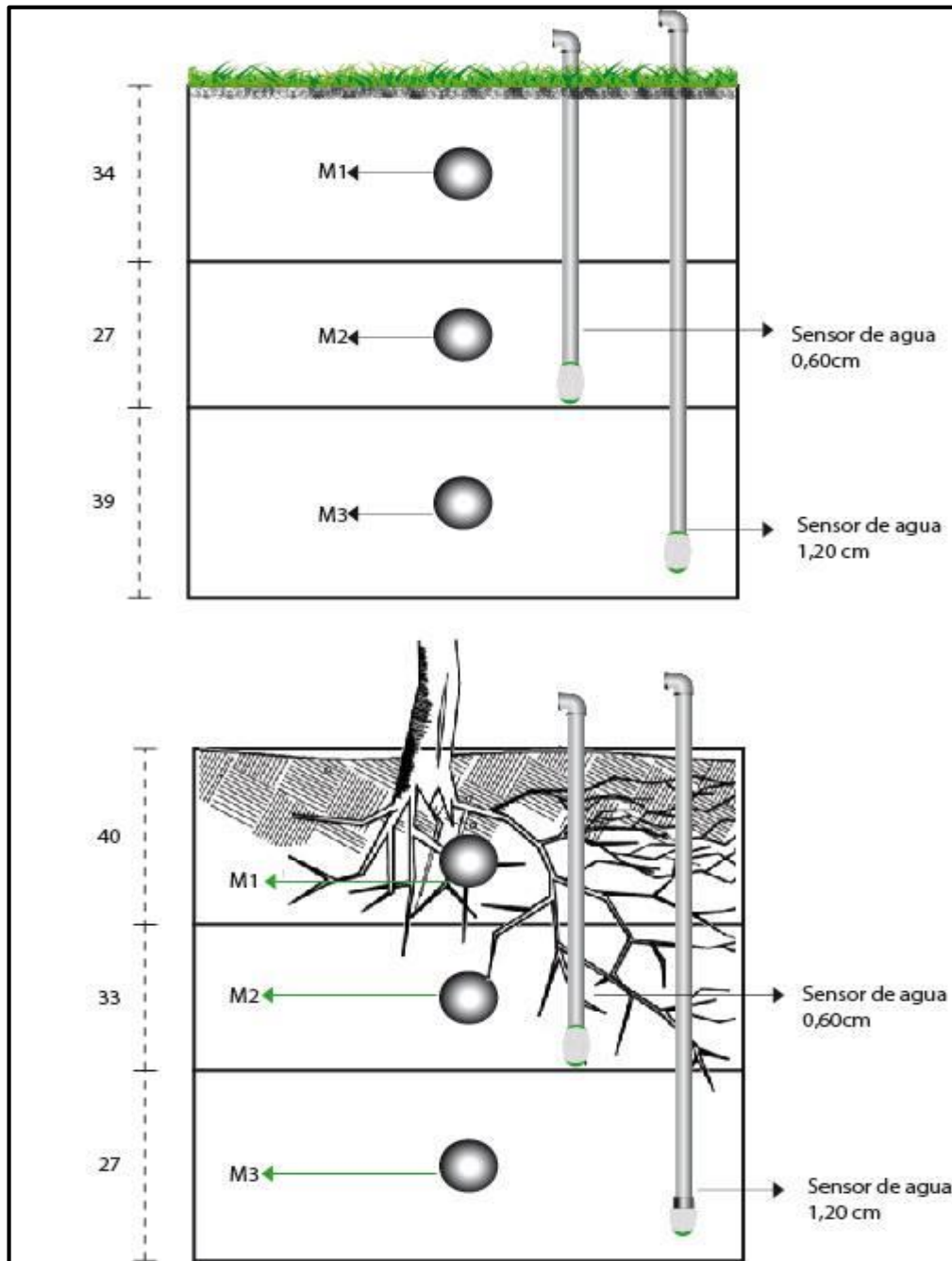
Latitud Norte	Ene	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
0	36,2	37,5	37,9	36,8	34,8	33,4	33,9	35,7	37,2	37,4	36,3	35,6

Fuente: Samani (2000)

**KT** = Coeficiente 0,62 regiones del interior y 0,19 regiones costeras.

**c) Análisis de suelo:** Se realizó una parcela de un metro cúbico, tomando un kilogramo de una muestra representativa de cada uno de los horizontes, que fue enviado al Laboratorio de Suelos y Aguas de la Universidad Católica del Ecuador sede Ibarra para determinar la clase textural, posteriormente se introdujo los datos al software HYDRUS-1D, en función del contenido en porcentaje de arena, arcilla, y limo.

**d) Tensiómetro:** Antes de llevar al campo se procedió a remojar los cuatro sensores en agua de riego durante 30 minutos en la mañana y se secó hasta la noche, se mojó de nuevo en un lapso de 30 minutos el día siguiente y se instaló mojado, mejorando la respuesta del sensor, detallándose en la ilustración 4.



**Ilustración 4.** Implementación de sensores de agua

**Elaborado por:** Erika Magaly Pule Mejía

- Con ayuda de un barreno recto, (ideal para muestreo de 0 a 60 cm en suelos sueltos), se procedió a realizar los hoyos de 60 cm de profundidad. Para los hoyos de 120 cm se necesitó un barreno recto con más profundidad.

- Una vez ya hechos los hoyos, se pusieron los sensores en un tubo PVC de ¾ para cada uno con medidas de 60 cm y 120 cm y se enterraron con mucho cuidado en el hoyo.
- Para la lectura se conectó los conductores del medidor a los cables del sensor con los cocodrilos, asegurándose de que los cables no se peguen con el otro. Los rangos son: 0 - 10 centibares = suelo saturado, 10 -30 centibares = el suelo está en condiciones óptimas, 30 - 60 centibares = rango normal para irrigación, 60 - 100 centibares rango normal para irrigación en suelos arcillosos pesados, 100 - 200 centibares = el suelo se está volviendo seco para la producción.

### 3.4.3.3 Calibración del modelo

Se procedió a cambiar la tensión inicial del suelo ejecutado en el programa, también la evapotranspiración hasta obtener una semejanza a lo medido en campo.

Posteriormente se toma como criterios de eficiencia, el coeficiente de determinación  $R_2$  y el índice Nash Sutcliffe.

En cuanto al coeficiente de determinación  $R_2$ , se define como el valor cuadrado del coeficiente de correlación según Bravais-Pearson, calculándose de la siguiente manera:

$$r^2 = \left( \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})(P_i - \bar{P})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P})^2}} \right)^2$$

En donde:

O y P = Son valores observados o proporcionados.

$r^2$  = Relación entre el cuadrado de covarianza y desviaciones estándar multiplicados de la obstrucción y de valores pronosticados. El rango esta entre 0 y 1 describiéndose como lo observado. Un valor que de cero significa que no hay correlación en absoluto.



La eficiencia de  $E$  propuesto por Nash- Sutcliffe (1970) se define como la suma de las diferencias absolutas entre los valores observados y pronosticados por la varianza de los valores observados calculándose como:

$$E = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2}$$

En donde:

O = Datos observados.

P = Datos propuestos por el programa.

E = Resultados en valores relativamente altos entre 1 y  $-\infty$ . Si la simulación es

$E=1$  es perfecta; y si se intenta ajustar las observaciones con el valor promedio de  $E=0$ .

Existen diferentes valores sugeridos para la toma de decisiones indicados en la siguiente tabla:

**Tabla 9.** Valores sugeridos NS

<b>E</b>	<b>AJUSTE</b>
<0,2	Insuficiente
0,2 - 0,4	Satisfecho
0,4 -0,6	Bueno
0,6 – 0,8	Muy bueno
>0,8	Excelente

**Fuete:** Molnar 2011

### 3.4.4 Parámetros morfométricos

Para el cálculo de los parámetros morfométricos se procedió a la recopilación de información de curvas de nivel y ríos de la carta topográfica de Mira y San Gabriel a

escala 1:50 000. Para el cálculo morfométrico, se requirieron datos (drenaje, salida, ríos, pendiente) que fueron manejados y procesados en el software ArcGis 10.2; se emplearon fórmulas para determinar la morfometría de las microcuencas. Suarez y Bravo (2003), los parámetros se clasificó con respecto a su de forma (área, perímetro, longitud axial, ancho promedio, factor de forma, coeficiente de compacidad, altitud mínima, altitud máxima, desnivel altitudinal, altitud media, curva hipsométrica, coeficiente de masividad, pendiente media) e hidrológicos (longitud del río principal, pendiente del río principal, densidad de drenaje, orden de la corriente, patrón de drenaje, tiempo de concentración), a continuación se describen los más importantes:

#### **3.4.4.1 Parámetros de forma**

##### **a) Área de las microcuencas**

Se realizó la delimitación de las microcuencas Preñadillas y Chitacspi con la elaboración de un modelo de elevación (DEM), el cual se generó a partir de un TIN (Red de triángulos irregulares) y este a partir de curvas de nivel a escala de 1:5000, luego se procedió a convertir el TIN a formato RASTER, posteriormente se calcularon los flujos de dirección que sirvieron para determinar la dirección en la que el agua fluye fuera de cada pixel, luego el flujo de acumulación para conocer cuánta agua puede recibir una celda determinada.

##### **b) Perímetro de las microcuencas**

Para calcular los parámetros del relieve como pendiente media de la cuenca y pendiente media del cauce principal se realizó en función de las cotas del modelo digital de elevación del desnivel que existe entre estas. Para los parámetros del drenaje como densidad de drenaje en función de la longitud.

##### **c) Factor de forma**

$$Ff = \frac{Ap}{La}$$

**Fuente:** Magette (1976)

En donde:

Ff = Factor de forma.

Ap = Ancho promedio.

La = Longitud.

#### d) Forma de la cuenca

Para determinar la forma de la cuenca se utilizó el índice de compacidad o índice de Gravelius.

$$Kc = \frac{P}{2\sqrt{\pi * A}}$$

Fuente: Villon (2002)

En donde:

K = Coeficiente de Gravelius.

P = Perímetro de la cuenca.

A = Área de la cuenca.

En la tabla 10, se detallan las formas de las cuencas hidrográficas según los rangos de clase que se diferencian:

**Tabla 10.** Clases de forma de la cuenca

CLASE	RANGOS DE CLASE	FORMA DE LA CUENCA
$Kc_1$	De 1,00 a 1,25	Redonda a oval redonda
$Kc_2$	De 1,25 a 1,50	Oval redonda a oval oblonga
$Kc_3$	De 1,50 a 1,75	Oval oblonga a rectangular oblonga

Fuente: Gravelius (1914)

### e) Curva hipsométrica

Es muy importante saber el área de una cuenca a distintos niveles topográficos, con el fin de comparar características de almacenamiento y flujo entre las microcuencas. La curva es determinada a través de mapas y tablas creadas anteriormente que contienen información necesaria para el cálculo con un procedimiento de grilla equivalente y más precisa a través del formato raster.

#### 3.4.4.2 Parámetros hídricos

##### a) Pendiente media del cauce principal

Para el cálculo se debe conocer la cota del punto de salida de las microcuencas y la cota del punto más alejado del canal. Se selecciona el cauce principal, luego se separó el cauce principal de acuerdo a la distribución de las curvas de nivel, dividiendo en segmentos de igual pendiente, sin tomar en cuenta los tramos de la misma longitud.

##### b) Densidad del drenaje

Generalmente la Densidad de Drenaje es expresada en Km/Km<sup>2</sup>, tomando valores que van desde 0,5 Km/Km<sup>2</sup> (cuencas con drenaje pobre) hasta 3,5 Km/Km<sup>2</sup> (cuencas excepcionalmente bien drenadas).

$$Dd = \frac{Lx}{A}$$

Fuente: Villon (2002)

En donde:

Dd = Densidad de drenaje.

Lx = Longitud total de todos los cauces.

A = Área.

### c) Tiempo de concentración

Tiempo necesario para que el caudal saliente se pueda estabilizar.

$$t_c = 0,95 * \left( \frac{L^3}{H} \right)^{0,385}$$

Fuente: Villon (2002)

En donde:

$t_c$  = Tiempo de concentración (minutos).

$L^3$  = Longitud en metros del cauce principal.

$H$  = Intensidad de precipitación.

### 3.4.5 Zona de recarga

**a) Identificación y ubicación de las fuentes de agua:** Se efectuó empleando las cartas topográficas de MIRA 8417S y SAN GABRIEL 8417S, a escala 1: 50 000 y la información del Sistema Nacional de Información sobre pendiente del terreno, tipo de suelo, uso del suelo y cobertura vegetal, para determinar la zona de recarga hídrica del afluente identificando las zonas potenciales.

**b) Características de la zona:** Se identificó las características de las zonas de recarga hídrica subsuperficial o subterránea, luego se procedió a la evaluación de los sitios registrados haciendo uso de las herramientas SIG.

**c) Elementos biofísicos:** Las zonas de recarga se identifican evaluando lo siguiente:

- Pendiente del terreno
- Textura del suelo
- Tipo de roca

- Cobertura vegetal
- Profundidad del suelo

### **3.4.6 Análisis de agua**

- a) Se hizo un análisis de agua para los siguientes parámetros pH, minerales disueltos en el agua, presencia de coliformes fecales, entre otros que puedan alterar el desarrollo de la vida de la flora y fauna.
- b) Las muestras de agua se las tomó en un transecto de tres puntos: naciente, en la captación de agua, lugar de Preñadillas; parte media donde se realiza la potabilización; y por último, se realizó en un domicilio escogido al azar.
- c) La toma de muestras se efectuó siguiendo los parámetros establecidos en la norma INEN-2226 que indica los siguientes pasos:

#### ***3.4.6.1 Toma de muestras para análisis físico – químico***

Para los análisis físicos se tomó en cuenta el color, pH turbiedad, cloro residual, conductividad y sólidos disueltos totales.

El procedimiento consistió en captar las muestras en envases de botellas plásticas de un litro, previamente acondicionadas y curadas, enjuagándolas en el sitio de recolección del agua, en el caso del acuífero se procedió a bombear el tanque antes de realizar el muestreo. Las muestras se llenaron hasta el cuello, se colocó la tapa cerrándola firmemente a fin de evitar la contaminación, por último se etiquetó apropiadamente.

En cuanto a las muestras colectadas en el tanque de cloración y en la parte del domicilio su procedimiento fue el mismo, se realizó en el grifo conectado directamente al sistema de bombeo, se esterilizó con fuego, luego se drenó durante dos minutos, a fin de remover todo el sedimento adherido a las tuberías, el recolector se colocó inmediatamente abajo del grifo pero no en contacto directo y se etiquetó las muestras.

#### ***3.4.6.2 Toma de muestras para análisis microbiológicos***

Los estudios bacteriológicos se realizaron en los tres puntos antes destacados, en el muestreo de los grifos se realiza los mismos procedimientos pero teniendo cuidado de que no se debe tener contacto con el grifo ni con otro factor que pueda alterar, para garantizar la calidad bacteriológica del agua.

Para la captación de las muestras en el tanque de cloración y domicilio se utilizó envases estériles de 50 ml cada uno, utilizando guantes se procede a recolectar con cuidado únicamente se destapó en el momento de la recolección de la muestra.

La muestra tomada en el acuífero se sostuvo el envase cerca de su base con los guantes puestos y se sumergió boca abajo, se giró el envase a fin de que quede hacia arriba.

Se realizó una correcta identificación de cada una de las muestras de agua se procede a etiquetar con el lugar de la toma de la muestra, código, fecha y hora. Se debe tener cuidado al momento de transportar las muestras al laboratorio; se verifica que estén bien etiquetadas y cuidar que los envases estén perfectamente cerrados para que no se alteren, además de que su temperatura este a 4°C con ayuda del cooler sellado y protegido de los efectos de la luz para que las características de las muestras no se alteren.

#### ***3.4.6.3 Análisis de muestras en el laboratorio***

El análisis se realizó en el laboratorio de EMAPA-IBARRA con los parámetros y métodos de acuerdo a la normativa de INEN 1180, detallándose a continuación el máximo permisible con la metodología empleada.

**Tabla 11.** Análisis de agua

<b>PARÁMETROS</b>	<b>EXPRESADO COMO</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE</b>	<b>MÉTODO DE ANÁLISIS</b>
<b>PARÁMETROS FÍSICOS</b>				
Color	color real	Unidades de color	15	Comparación visual Pt-Co
Potencial de hidrogeno	pH	mg/l	6,5 - 8,5	Electrométrico
Turbiedad		NTU	5	Nefelométrico
Conductibilidad		uS/cm	-	Conductivimétrico
Solidos disueltos totales		mg/l	1000	Conductivimétrico
<b>PARÁMETROS QUÍMICOS</b>				
Nitrato	N-Nitrato	mg/l	3	Fotométrico
Dureza	CaCO <sub>3</sub>	mg/l	300	Volumétrico (EDTA)
Magnesio	Mg	mg/l	30	Fotométrico
Calcio	Ca	mg/l	70	Fotométrico
Alcalinidad total		mg/l	-	Volumétrico
Sulfatos	SO <sub>4</sub>	mg/l	200	Fotométrico
Hierro	Fe	mg/l	0,3	Fotométrico
Cloro residual		mg/l	0,3-1,5	
<b>ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO</b>				
Coliformes Totales	nmp/100ml	ufc/100ml	50	Potatest
E Coli		ufc/100ml	<1	Potatest

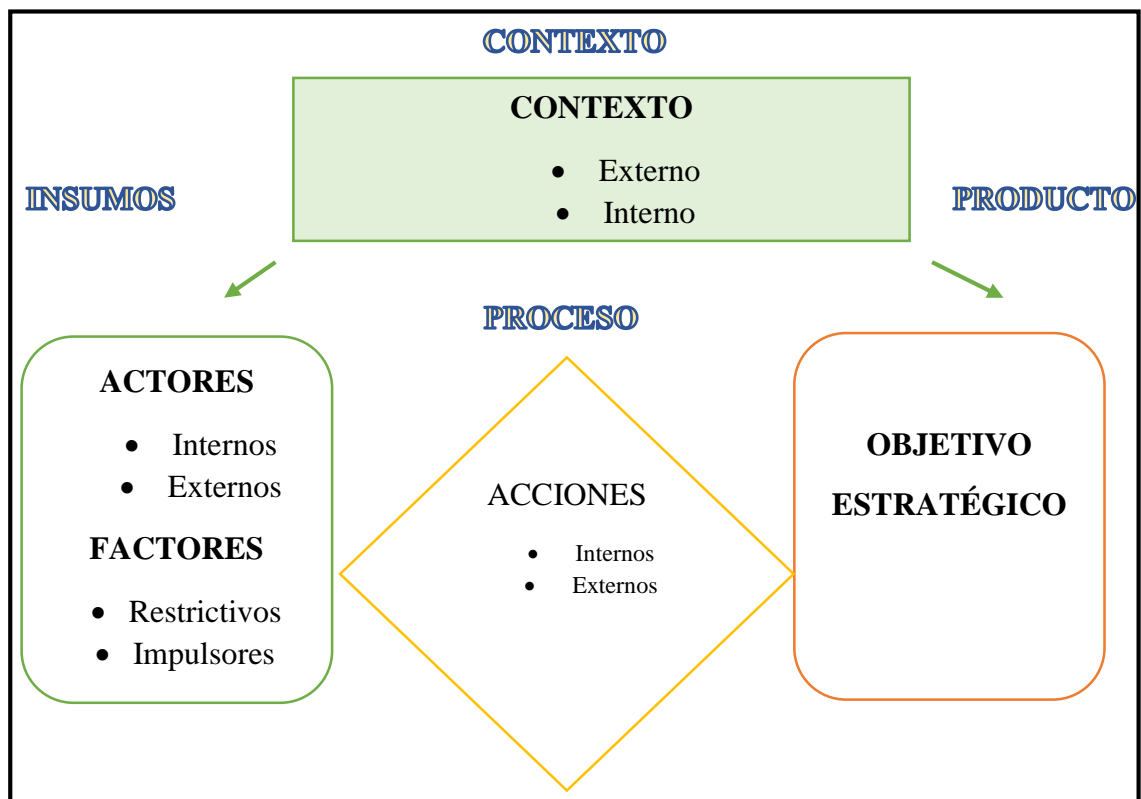
Fuente: INEN 1180 (2003)



### 3.4.7 Propuesta de manejo del acuífero

Para elaborar la propuesta del manejo del acuífero, se utilizó la metodología de CIPP (Contexto, Insumo, Proceso, Producto).

Esta metodología ha sido empleada por los principales centros de investigación de América Latina, para formular propuestas estratégicas, para la gestión sostenible de los recursos naturales como es el agua.



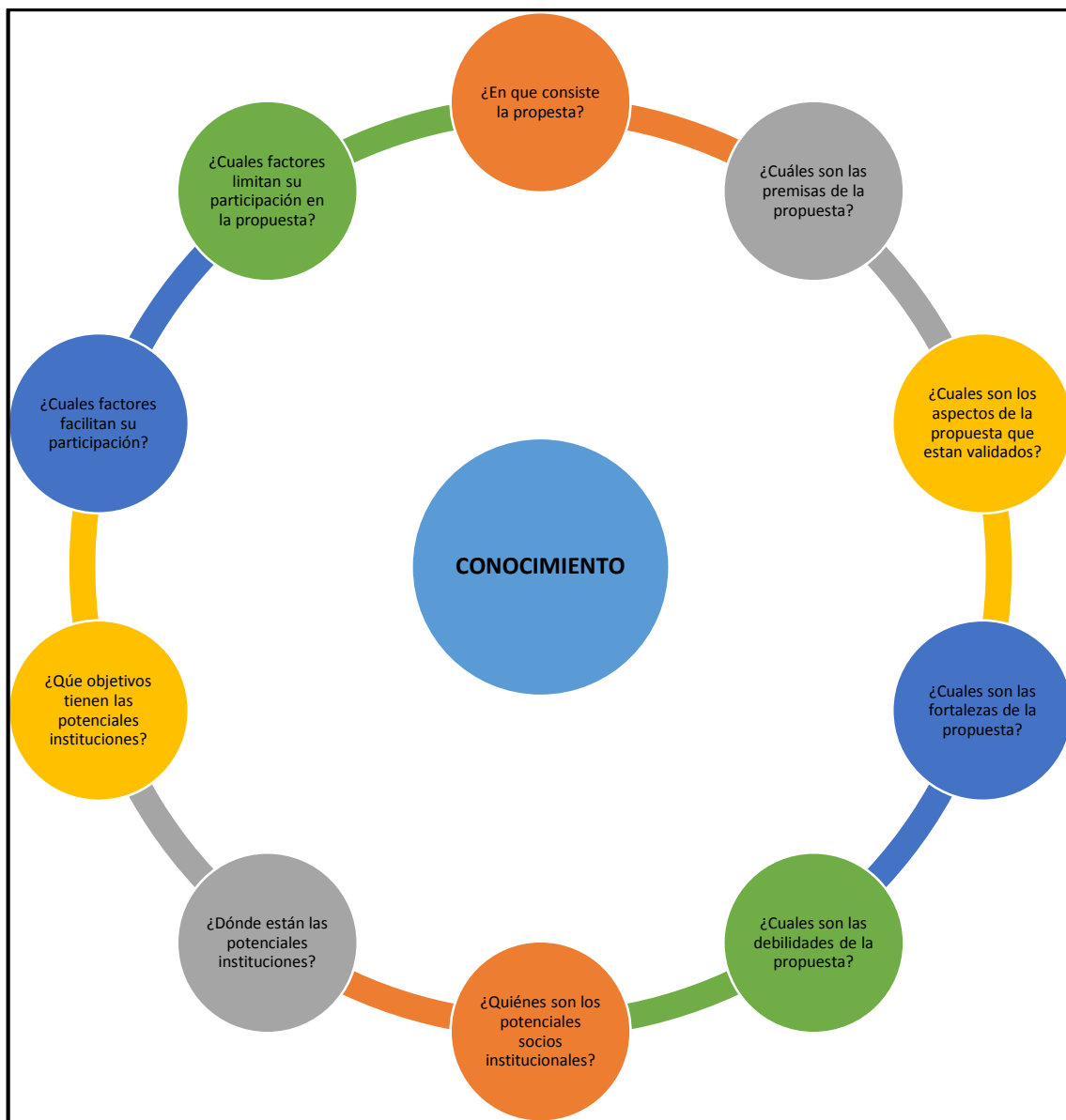
*Ilustración 5. Componentes de la metodología del CIPP*

**Fuente:** Añazco (2002)

La definición del objetivo estratégico es considerada el punto más importante en el planteamiento de la propuesta, pues, es la línea de donde parte la estrategia para ser desarrollada por las instituciones involucradas.

Para ser efectuada se debe tener información generada en el campo para responder diferentes preguntas que se describen a continuación:

- a) **C =** Análisis del contexto externo e interno (político, legal, institucional, ecológico, económico, social, cultural).
  
- b) **I =** Insumos:  
Resultados del análisis del ecosistema y agroecosistema, balance hídrico y calidad de agua.  
Factores restrictivos.  
Factores impulsores.
  
- c) **P=** Proceso  
Definir líneas de acción estratégica  
Supervisa la implementación mediante el registro de actividades y logros relacionados con el diseño de procedimientos.
  
- d) **P=** Producto  
Consolida los logros obtenidos relacionándolos con las metas y objetivos del programa. Define el objetivo de la propuesta, se debe tener una profunda comprensión de dos componentes fundamentales, para la formulación se emplea la herramienta utilizada como la “ruleta del conocimiento” siendo un medio que organiza las respuestas elaboradas como se indica en la ilustración 6.



*Ilustración 6. Ruleta del conocimiento*

**Fuente:** Añazco (2002)

# CAPÍTULO IV

## RESULTADOS

### 4.1 CARACTERIZACIÓN DE ECOSISTEMAS

En los dos sitios de estudio se encontraron diferentes tipos de vegetaciones, en los cuales existen especies introducidas y nativas.

#### 4.1.1 Plantación Forestal

El área de investigación ubicada en Preñadillas presenta una plantación forestal de la especie arbórea introducida *Eucalyptus globulus*. Esta última presenta regeneración natural, especie nativa *Oreopanax ecuadorensis*; además se registraron abundantes especies arbustivas, en la que se destaca la especie de *Baccharis trinervis*. Dentro del inventario florístico se encontraron cuatro familias arbustivas y cinco familias herbáceas, tal como se presenta en la tabla 12.

**Tabla 12.** Inventario florístico de Preñadillas

TIPO	ESPECIE	FAMILIA	N. COMÚN
ARBÓREAS	<i>Eucalyptus globulus</i>	MIRTACEAE	Eucalipto
	<i>Oreopanax ecuadorensis</i>	ARALIACEAE	Pumamaqui
ARBUSTIBAS	<i>Baccharis trinervis</i>	ASTERACEAE	Chilca
	<i>Rubus floribundus</i>	ROSEACEAE	Mora silvestre
	<i>Hesperomeles obtusifolia</i>	ROSEACEAE	Cerote
	<i>Hypochaeris sonchoides</i>	ASTERACEAE	Achicoria blanca
	<i>Clinopodium nubigenum</i>	LAMIACEAE	Sunfo
HERBÁCEAS	<i>Oxalis lotoides</i>	OXALIDACEAE	Chulku
	<i>Tillandsia complanata</i>	BROMELIACEAE	Vicundo
	<i>Drymaria ovata</i>	CARYOPHYLLACEAE	Golondrina
	<i>Miconia theaezans</i>	MELASTOMATACEAE	

Continuación.../...

	<i>Miconia bracteolata</i>	MELASTOMATACEAE	
	<i>Veronica pérsica</i>	SCROPHULARIACEAE	Veronica

Elaborado por: Erika Magaly Pule Mejía.

#### 4.1.2 Pasto cultivado

La especie introducida del sector Chitacaspi es *Pennisetum clandestinum* conocido como pasto o kikuyo que corresponde a un ecosistema herbáceo, útil para pastoreo de ganado de la zona, como predominancia de las herbáceas se encuentra la familia Asteráceae Inventario florístico, tabla 13.

**Tabla 13.** Inventario florístico de Chitacaspi

TIPO	ESPECIE	FAMILIA	N. COMÚN
<b>HERBÁCEAS</b>	<i>Hypochaeris sonchoides</i>	ASTERACEAE	Achicoria blanca
	<i>Sonchus oleraceus</i>	ASTERACEAE	Cerraja
	<i>Oxalis lotoides</i>	OXALIDACEAE	Sanja chulku
	<i>Trifolium repens</i>	FABACEAE	Trébol blanco
	<i>Pennisetum clandestinum</i>	POACEAE	Kikuyo
	<i>Bidens andicola</i>	ASTERACEAE	Flor de ñachak
	<i>Gunnera magellanica</i>	GUNNERACEAE	Orejuela
	<i>Lachemilla orbiculata</i>	ROSACEAE	Orejuelo

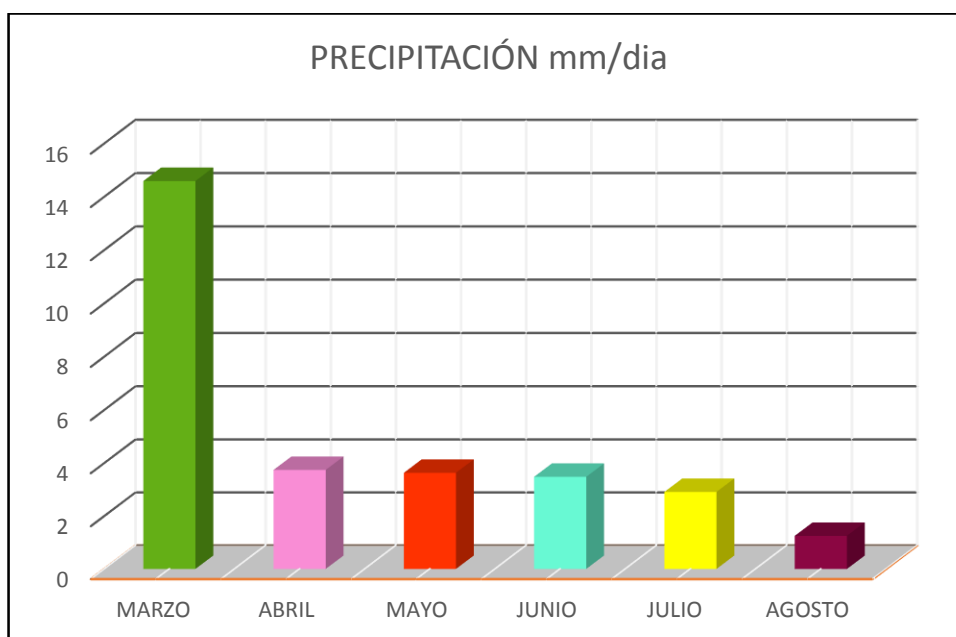
Elaborado por: Erika Magaly Pule Mejía

El pasto constituye la fuente de alimentación para el ganado, mejora la economía del sector al constituir el alimento de los animales forrajeros. Sin embargo, depende del manejo adecuado para que el pasto adquiera todo su potencial.

## 4.2 BALANCE HÍDRICO

### 4.2.1 Precipitación

En los sitios de estudio hidrológicos como Preñadillas y Chitacaspi se recolectó datos de precipitación, analizados minuciosamente por ser un parámetro fundamental en el balance hídrico, los resultados se describen a continuación:



**Gráfico 5.** Precipitación mensual de las zonas de estudio

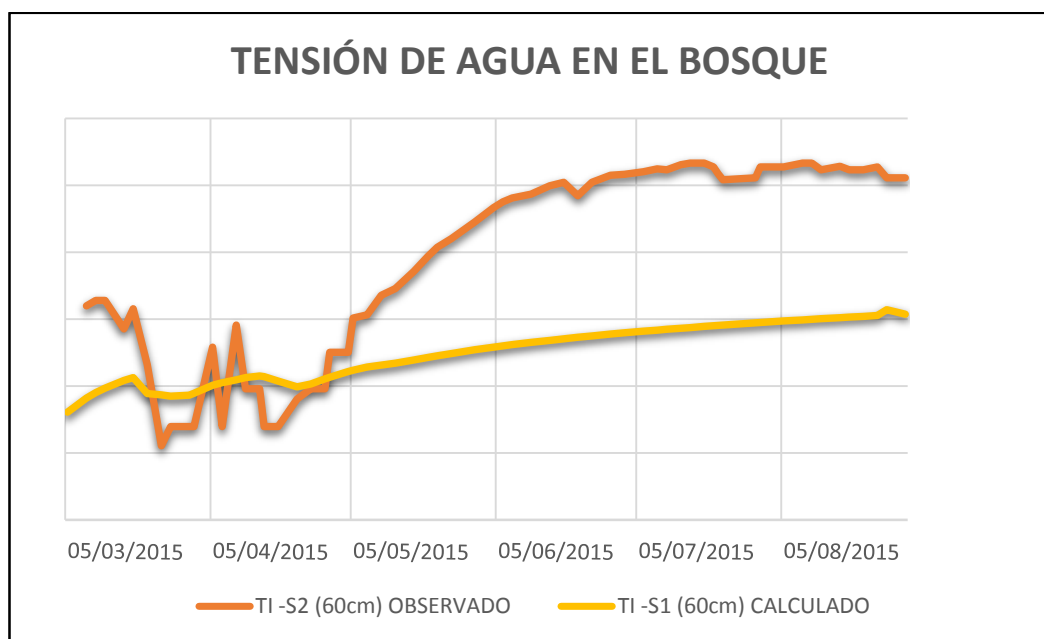
**Elaborado por:** Erika Magaly Pule Mejía

El pluviómetro ubicado en la plantación forestal registró datos de precipitación durante seis meses, desde marzo hasta agosto, con un total de 29,6 mm de lluvias; sobresale el primer mes con 14,59 mm, generándose precipitaciones intensas. Según INAMHI (2015), los días anteriores a estos temporales fueron soleados, lo que permitió que haya acumulación calórica y aumente la intensidad de lluvias.

En lo que concierne a los meses de junio, julio y agosto, hubo decrecimiento de 25,8% del total porcentual, siendo este último mes el que menos precipitación registra con 1,25 mm.

#### 4.2.2 Tensión

La infiltración del agua en el suelo es un proceso muy complejo, depende tanto de la cantidad de agua disponible para ingresar a las capas freáticas como también de viento, precipitación, escorrentía, tipo de texturas del suelo, entre otros. Los sensores de humedad calibrados en centibares fueron los instrumentos de campo que determinaron la tensión. A continuación se detalla la infiltración por cada uno de los sitios:



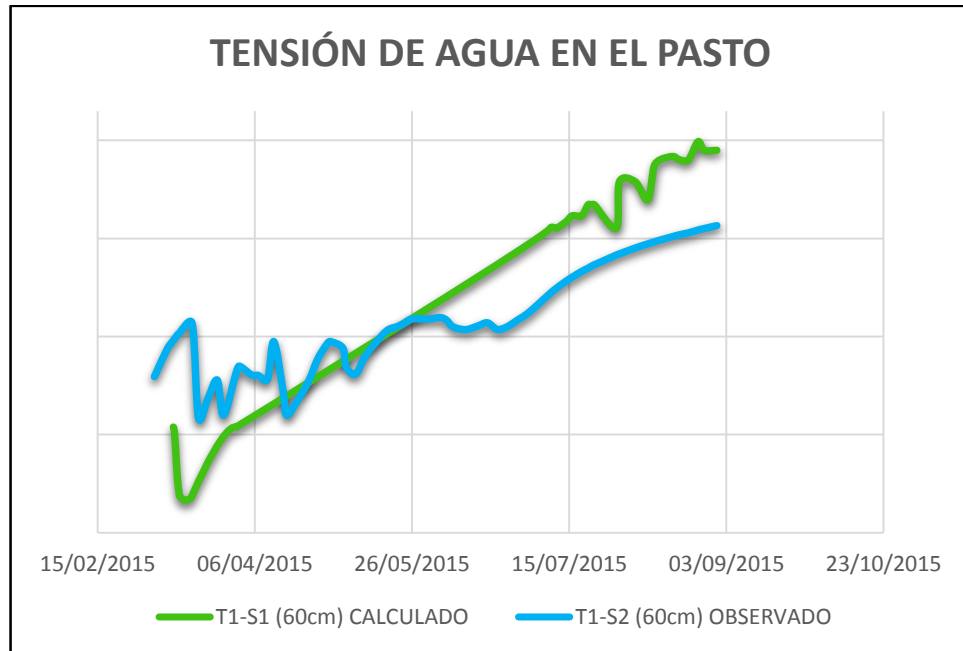
**Gráfico 6.** Tensión de agua en el bosque Preñadillas

**Elaborado por:** Erika Magaly Pule Mejía

En el gráfico 6 se enfatiza la plantación forestal ubicada en Preñadillas, con dos variables: T1 - S2, variable observado en el campo con ayuda de los sensores de humedad; T1 - S1, variable calculado a través del programa hídrico, HYDRUS 1D, durante seis meses.

En la gráfica, los datos de los equipos registran una humedad del suelo de 5814 centibares (cb), manteniendo un rango de 0 - 90 cb en los meses de marzo, abril y mayo, siendo éstos lo de mayor precipitación y para los meses secos junio, julio y agosto, una infiltración menor de 160 - 199 cb.

La variable de lo calculado, T1 - S1, sostiene un nivel estable en casi los seis meses con una disminución de infiltración para julio y agosto hasta convertirse en un suelo poco saturado.



**Gráfico 7.** Tensión de agua en el pasto Chitacaspi.

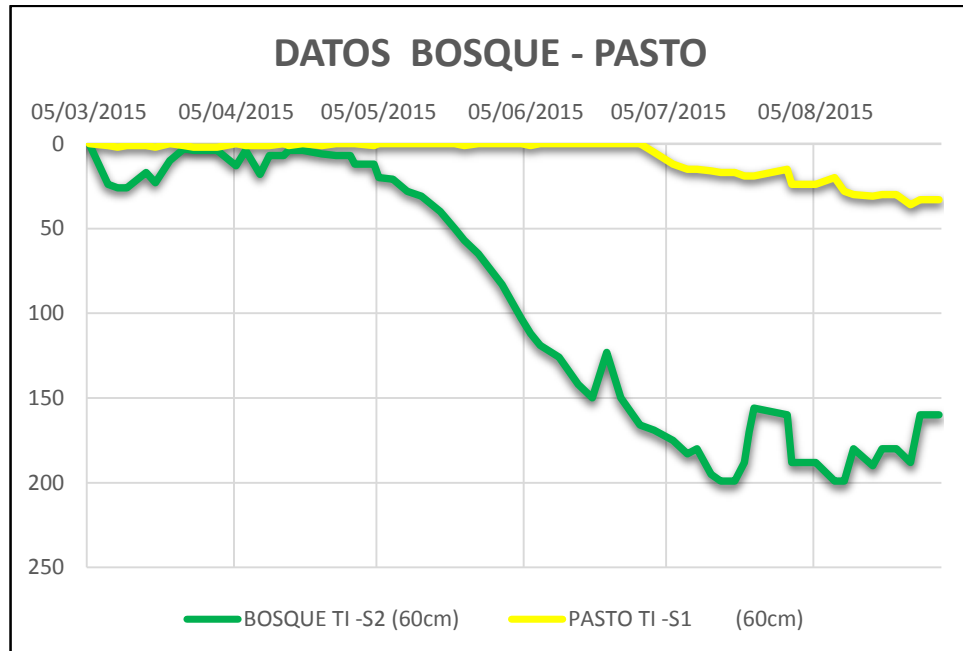
**Elaborado por:** Erika Magaly Pule Mejía.

En el gráfico 7 detalla dos variables: T1 - S2, datos de campo recopilados a una profundidad de 60 cm; mientras que T1 - S1, datos calculados por el software HYDRUS - 1D. Según Sierra (2005), los pastos ayudan a conservar la fertilidad del suelo, por consiguiente, al tener una cubierta protectora evita y reduce la erosión e impide el impacto directo de la precipitación sobre el suelo descubierto; además protege al suelo de la escorrentía superficial que favorece a la infiltración, absorción y almacenamiento de agua.

La variable T1 - S2, adquiere una inestabilidad a mediados de los seis meses (marzo-agosto), entre marzo-mayo se registró una infiltración mayor de 0 - 3 cb, mientras que para los meses posteriores la humedad del suelo comienza a disminuir a partir de 5 - 34cb.



Sin embargo, los datos del modelo HYDRUS - 1D parten de un suelo saturado que va desde 3 - 16 cb, por consecuencia, se entiende que el pasto cumple una función muy importante en la retención de agua.



**Gráfico 8.** Datos calculados bosque – pasto

**Elaborado por:** Erika Magaly Pule Mejía.

La plantación forestal graficada en el recuadro 8, según la clasificación de IRROMETER (2013), en los meses marzo-mayo presenta un suelo que requiere riego para lograr la condición normal de humedad. Pero los meses siguientes hay un decrecimiento mayor de infiltración de agua que amenaza a la plantación; el tipo de suelo, franco arcilloso, influye en esta percolación, provoca que los poros se contraigan y la capa textural no retenga este recurso vital.

Estudios relacionados mencionan que el paso del agua hacia el interior de las capas del suelo se infiltra y se humedecen de arriba hacia abajo, alterando gradualmente su saturación (Pariente, 2014).

En la segunda zona de estudio, el pasto presenta un comportamiento diferente al de la plantación forestal, se sostiene estable en la humedad por los cuatro primeros meses de

estudio (marzo-junio). Los meses de julio y agosto no demuestran precipitaciones considerables, por tal razón, el suelo se seca. Según Meza (2012), los suelos que se encuentran por debajo del nivel freático se consideran en estado saturado, es decir, que los espacios vacíos están ocupados completamente por agua. De acuerdo con las leyes de la hidráulica, bajo esta condición el agua en los poros del suelo se encuentra a una presión positiva, es decir que ejerce una fuerza positiva, de igual magnitud y en todas las direcciones y se le conoce como presión de poros debida al agua ( $U_w$ ).

Normalmente la infiltración proveniente de precipitaciones naturales, no es capaz de saturar todo el suelo, sólo a las capas más cercanas de la superficie, conformando un perfil típico, en donde el valor de humedad decrece con la profundidad.

#### 4.2.3 Calibración del modelo hídrico

Una vez calibrado el modelo hídrico se procedió a cambiar la tensión inicial del suelo y evapotranspiración hasta obtener una semejanza con lo medido en el campo, para lo cual se comprobó con criterios de eficiencia: coeficiente de determinación  $R^2$  e índice Nash Sutcliffe, se definen entre un rango de 0 y 1, siendo uno valor que existe correlación entre observado y calculado.

**Tabla 14.** Calibración del modelo hidrológico

SITIO	$R^2$	Nash Sutcliffe.
PASTO	0,9041	0,51056
BOSQUE	0,9129	0,99965

Elaborado por: Erika Magaly Pule Mejía

#### 4.3 PARÁMENTROS MORFOMÉTRICOS

Los parámetros morfométricos de las microcuencas Chitacspi y Preñadillas se describen (Ver figura 9 - anexo 7), en las siguientes tablas:

**Tabla 15.** Parámetros morfométricos de la microcuenca de Chitacaspi

<b>PARÁMETROS DE FORMA</b>			
<b>PARÁMETRO</b>	<b>MÉTODO</b>	<b>RESULTADO</b>	<b>INTERPRETACIÓN</b>
<b>Área (A)</b>	Cálculo de geometría en ArcGIS 10.2	A = 466,92Has A = 4,6692 km <sup>2</sup>	De acuerdo al área calculada pertenece a una cuenca de tamaño GRANDE
<b>Perímetro (P)</b>	Cálculo de geometría en ArcGIS 10.2	P = 13,74 km	
<b>Longitud axial (La)</b>	Medición del eje principal de la cuenca en ArcGIS 10.2	La = 5,64km	La longitud axial del cauce principal pertenece a un cauce de longitud PEQUEÑO
<b>Coficiente de compacidad (Kc)</b>	$Kc = \frac{P}{2\sqrt{\pi * A}}$	Kc = 0,830	La forma de la cuenca es OVAL REDONDA A OVAL OBLONGA
<b>Ancho Promedio (Ap)</b>	$Ap = \frac{A}{La}$	Ap = 0,83 km	Cuenca LIGERAMENTE REDONDEADA con la longitud axial 5,64 km LIGERAMENTE MAYOR al ancho promedio
<b>Factor Forma (Ff)</b>	$Ff = \frac{Ap}{La}$	Ff = 0,1467	El factor forma muestra que tiene BAJA SUCEPTIBILIDAD DE LAS CRECIDAS
<b>Altitud mínima (Hmín)</b>	DEM	Hmín = 2500m	Piso altitudinal PREMONTANO
<b>Altitud máxima (Hmáx)</b>	DEM	Hmáx = 3800m	Piso altitudinal SUBALPINO
<b>Desnivel altitudinal</b>	$Dh = Hmáx - Hmín$	Dh = 1280 m	Desnivel altitudinal BAJA
<b>Altitud Media (H)</b>	DEM	Hm = 3075,95m	
<b>Coficiente de masividad (m/km<sup>2</sup>)</b>	$Km = \frac{Hm}{A}$	Km = 6,59m/km <sup>2</sup>	Clase de masividad MUY MONTAÑOSO
<b>Pendiente media de la cuenca</b>	Clasificación por Porcentaje	23,23%	La cuenca presenta una morfología FUERTEMENTE ACCIDENTADO

Continuación.../...

PARÁMETROS HIDROLÓGICOS			
PARÁMETRO	MÉTODO	RESULTADO	INTERPRETACIÓN
<b>Patrón de drenaje</b>	Interpretación de imágenes satelitales LANDSAT 7 ETM+, LANDSAT 8 OLI, fotografía aérea, DEM	Patrón de Drenaje DENDRITICO	
<b>Longitud del río principal (l)</b>	Medición del río en ArcGIS 10.2	L = 5,81 km	La longitud del cauce del río principal corresponde a una longitud CORTA
<b>Pendiente del río principal (S)</b>	Medición del río en ArcGIS 10.2 <b>S=Desnivel del río/ long d río</b>	S = 1,48 m/m	La pendiente es mediana para el río principal
<b>Densidad de drenaje (DD)</b>	$Dd = \frac{Lx}{A}$	Dd = 0,01 km/km <sup>2</sup>	Cuenca ESCASAMENTE drenada
<b>Orden</b>	Herramienta Hydrology	Orden 4	El cauce principal de la microcuenca de CHITACASPI se abastece de las aguas pluviales y del agua de escorrentía del páramo alto Y BOSQUE NATIVO
<b>Tiempo de concentración KIRPICH (TC EN HORAS)</b>	$tc = 0,95 * \left( \frac{L^3}{H} \right)^{0,385}$ L (km) 5,81 H (m) 3075,95	T = 0,33h 0,30 HORA 19 MINUTOS	-----

Elaborado por: Erika Magaly Pule Mejía.

La microcuenca tiene un área de 466 hectáreas, que corresponde a un tamaño grande por lo que tiene mayor capacidad de colectar agua, este valor al igual que las medidas de largo y ancho sirvieron para calcular posteriormente los datos morfométricos.

La pendiente media de la cuenca es de 23,23%, determinada en función de la elevación fuertemente accidentada. Según *Gravelius*, el coeficiente de compacidad compara la forma de la cuenca con la de una circunferencia; por lo cual la microcuenca de Chitacspi tiene una forma oval redonda a oval oblonga.

En los parámetros hídricos la densidad de drenaje es de 0,1 km/km<sup>2</sup>, de modo que esta microcuenca es escasamente drenada y con un cauce principal pequeño; este último ubicado en Chitacspi se abastece de las aguas pluviales y de la escorrentía del páramo alto y del bosque nativo.

**Tabla 16.** Parámetros morfométricos de la microcuenca de Preñadillas

<b>PARÁMETROS DE FORMA</b>			
<b>PARÁMETRO</b>	<b>MÉTODO</b>	<b>RESULTADO</b>	<b>INTERPRETACIÓN</b>
<b>Área (A)</b>	Cálculo de geometría en ArcGIS 10.2	A = 843,19Has A = 8,4319km <sup>2</sup>	De acuerdo al área calculada pertenece a una cuenca de tamaño GRANDE
<b>Perímetro (P)</b>	Cálculo de geometría en ArcGIS 10.2	P = 14,1182 km	
<b>Longitud axial (La)</b>	Medición del eje principal de la cuenca en ArcGIS 10.2	La = 5,87km	La longitud axial del cauce principal pertenece a un cauce de longitud PEQUEÑO
<b>Coficiente de compacidad (Kc)</b>	$Kc = \frac{P}{2\sqrt{\pi * A}}$	Kc = 0,472	La forma de la cuenca es OVAL REDONDA A OVAL OBLONGA
<b>Ancho Promedio (Ap)</b>	$Ap = \frac{A}{La}$	Ap = 1,44 km	Cuenca LIGERAMENTE REDONDEADA con la longitud axial de 5,87 PEQUEÑO al ancho promedio

Continuación.../...

Continuación.../...

<b>Factor Forma (Ff)</b>	$Ff = \frac{Ap}{La}$	$Ff = 0,244$	El factor forma muestra que tiene BAJA susceptibilidad de las crecidas
<b>Altitud mínima (Hmín)</b>	DEM	Hmín = 2700m	Piso altitudinal MONTANO BAJO
<b>Altitud máxima (Hmáx)</b>	DEM	Hmáx = 3800m	Piso altitudinal MONTANO
<b>Desnivel altitudinal</b>	$Dh = Hmáx - Hmín$	Dh = 1100 m	Desnivel altitudinal BAJO
<b>Altitud Media (H)</b>	DEM	Hm = 3143,09m	
<b>Coefficiente de masividad (m/km<sup>2</sup>)</b>	$Km = \frac{Hm}{A}$	Km = 372,76m/km <sup>2</sup>	Clase de masividad MUY MONTAÑOSO
<b>Pendiente media de la cuenca</b>	Clasificación por Porcentaje	15,89%	La cuenca presenta una morfología ACCIDENTADA
PARÁMETROS HIDROLÓGICOS			
PARÁMETRO	MÉTODO	RESULTADO	INTERPRETACIÓN
<b>Patrón de Drenaje</b>	Interpretación de imágenes satelitales LANDSAT 7 ETM+, LANDSAT 8 OLI, fotografía aérea, DEM	Patrón de Drenaje DENDRITICO	
<b>Longitud del río principal (L)</b>	Medición del río en ArcGIS 10.2	L = 5,28 km	La longitud del cauce corresponde a CORTO
<b>Pendiente del río principal (S)</b>	Medición del río en ArcGIS 10.2 <b>S=Desnivel del río/ long d río</b> 3102,047119/2700,61 3525	S = 1,15m/m	Pendiente media

Continuación.../...

<b>Densidad de Drenaje (Dd)</b>	$Dd = \frac{Lx}{A}$	Dd = 0,00006 km/km <sup>2</sup>	Cuenca POCO DRENADA
<b>Orden</b>	Herramienta Hydrology	Orden 4	La microcuenca Preñadillas aguas pluviales y del agua de escorrentía del páramo alto Y BOSQUE NATIVO
<b>Tiempo de concentración</b> <b>KIRPICH (TC EN HORAS)</b>	$tc = 0,95 * \left( \frac{L^3}{H} \right)^{0,385}$ L (km) 5,28 H (m) 3143,09	T = 0,29 h 17 MINUTOS	-----

**Elaborado por:** Erika Magaly Pule Mejía.

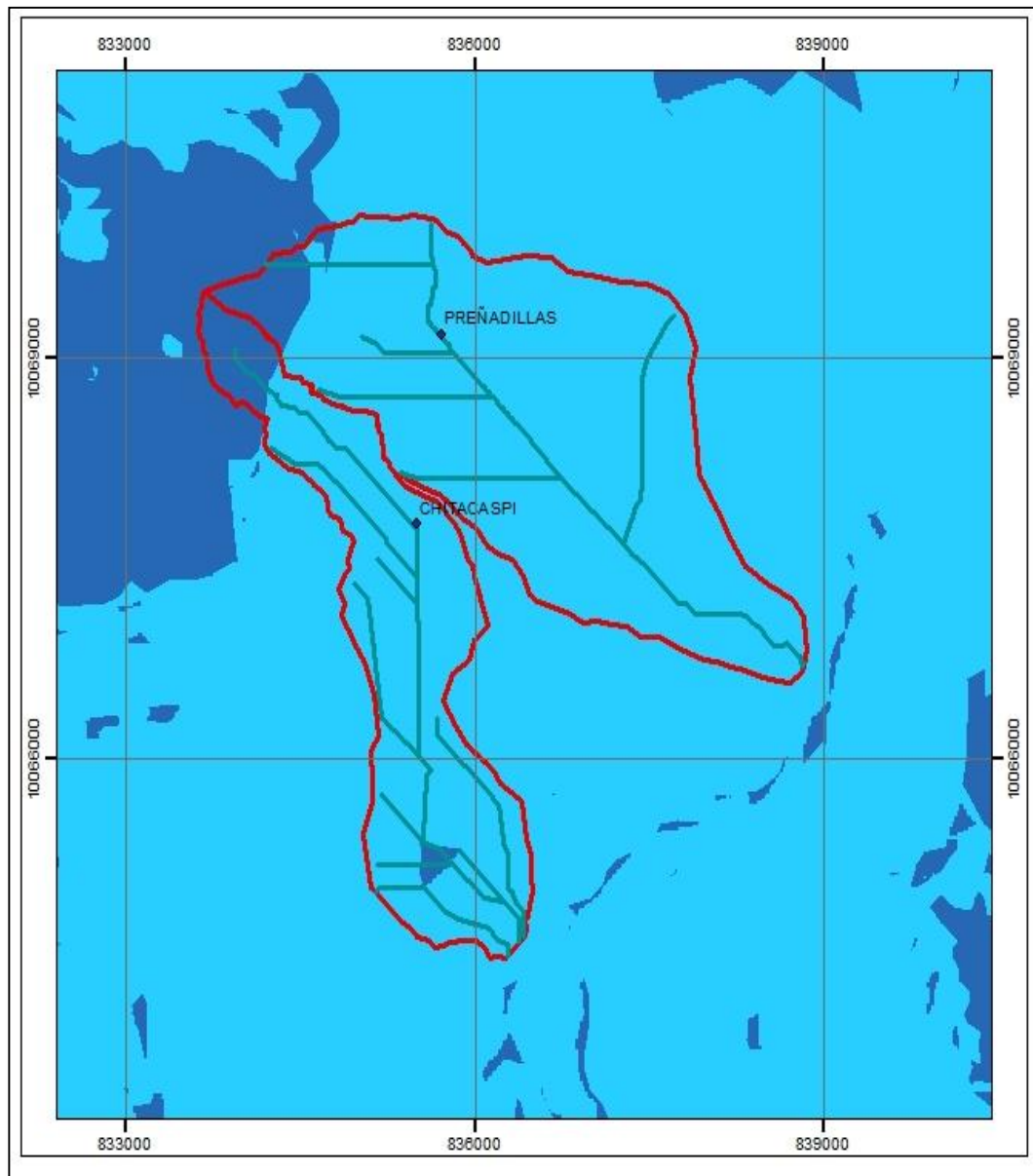
La forma de la microcuenca Preñadillas es oval redonda a oval oblonga, con un parámetro importante en el hidrograma de descarga. Existe un área de 843,19 hectáreas, se considera que es una cuenca grande, pero con un cauce principal de longitud pequeño, de acuerdo con el criterio de Taylor Schwarz, considera que el río puede estar formado por una serie de tramos de igual longitud.

La pendiente es de 15,85% indica que es accidentada por lo tanto tiene una escorrentía más veloz en la concentración de aguas.

En los parámetros hídricos la densidad de drenaje es de 0,00006 km/km<sup>2</sup>, de manera que es una microcuenca escasamente drenada mucho menor que la de Chitacaspi.

#### 4.4 RECARGA HÍDRICA

El estudio de Preñadillas y Chitacaspi determinaron la zona de recarga hídrica, las mismas establecidas como microcuencas se dividieron en dos tipos de recarga; alta y media como se detalla en la figura 1.



*Figura 1. Recarga total*

**Elaborado por:** Erika Magaly Pule Mejía.

Se encontró como recarga alta al cerro Iguan con una superficie de 76,3 hectáreas, una altitud de 3400 - 3800 m.n.s.m., una litología de lavas y brechas volcánicas y suelo de textura arenosa. Según la profundidad se clasifica en suelo superficial, menos de 30 cm, suelo profundo 40 a 100 cm de longitud y pendiente de 0 - 5, 5 - 12%.



Las laderas bajas del cerro corresponden a la recarga hídrica media con una superficie de 1233,86 hectáreas. El suelo es de origen volcánico de Pisayambo, litología de flujos de lava y piroclastos andesíticos a riolíticos, textura franco arenoso y suelo franco; según su profundidad, el suelo va de poco profundo (30 a 50 cm) a suelo profundo (50 - 100 cm). Además posee una pendiente de 12-25% y 25-50%.

En cuanto a su formación vegetal se clasifica como Bosque Siempre Verde Montano Alto (MAE, 2014). En la recarga alta existe presencia de paramo y plantación forestal, mientras que en la recarga media se encuentran: pastizal, tierra agropecuaria misceláneo de ciclo corto, misceláneo de cereales, cultivo anual raíces tubérculos, vegetación arbustiva, cultivo anual cereales, cultivo anual cereales maíz suave y área poblada.

*(Ver figura 10 - anexo 8)*

#### **4.5 ANÁLISIS DE AGUA**

Para el análisis de agua se tomaron muestras en tres diferentes puntos: acuífero, tanque de cloración y una vivienda seleccionada aleatoriamente, y se aplicó la metodología de la norma INEN 2226.

Posteriormente se transportaron las muestras al laboratorio de EMAPA-IBARRA, (*Ver anexo 9*), especificándose en la tabla 17 con los siguientes parámetros:

**Tabla 17.** Análisis de agua Preñadillas

Parámetros	Expresado como	Unidad	Resultado fuente hídrica Preñadillas	Resultado Tanque La Tola	Resultado Vivienda	límite Máximo permisible INEN 1108	límite Máximo permisible OMS
<b>Análisis físico</b>							
Color	color real	Unidad de color	0	0	0	15	15
Potencial de hidrogeno	pH	mg/l	6,50	7	6,78	6,5 - 8,5	-
Turbiedad		NTU	0,13	0,11	0,10	5	5
Conductibilidad		uS/cm	193,30	193,20	193,10	-	-
Solidos disueltos totales		mg/l	1000	100	100	1000	600
<b>Análisis químico</b>							
Nitrato	N-Nitrato	mg/l	1,2	0,6	1,1	3	50
Dureza	CaCO <sub>3</sub>	mg/l	178,21	91,08	95,04	300	-
Magnesio	Mg	mg/l	28,01	6,76	9,75	30	35
Calcio	Ca	mg/l	25,34	25,34	22,17	70	-
Alcalinidad total		mg/l	112	108	112	-	-
Sulfatos	SO <sub>4</sub>	mg/l	56	48	51	200	1000 - 1200
Hierro	Fe	mg/l	0,02	0,01	0,00	0,3	-
Cloro residual		mg/l	-	-	-	0,3-1,5	5
<b>Microbiológicos</b>							
Coliformes Totales	nmp/100ml	ufc/100 ml	0	0	0	50	0
E Coli		ufc/100 ml	0	0	0	<1	0

**Elaborado por:** Erika Magaly Pule Mejía.

#### 4.5.1 Análisis físicos del agua

Los resultados obtenidos en el laboratorio se rigen a los límites permisibles, según el Instituto Ecuatoriano de Normalización INEN 1108 y de la Organización Mundial de la Salud (OMS). A continuación se describen los análisis físicos de la fuente hídrica Preñadillas, Tanque de cloración La tola y un domicilio escogido al azar.

##### a) Color

El color tiene valores nulos que a la vista, el agua es permisible para el consumo humano.

##### b) Potencial de hidrógeno



**Gráfico 9.** Potencial de hidrogeno máximo permisible INEN

**Elaborado por:** Erika Magaly Pule Mejía

El pH es un factor importante en la calidad del agua, aunque no suele afectar directamente a los consumidores se debe prestar atención al color que produce este coeficiente en todas las fases del tratamiento del agua, para garantizar una desinfección y clarificación satisfactoria. En las tres muestras no se encontró desequilibrio del potencial de hidrógeno, como se observa en el gráfico 9, el máximo permisible de la norma INEN es de 6,5-8,5.

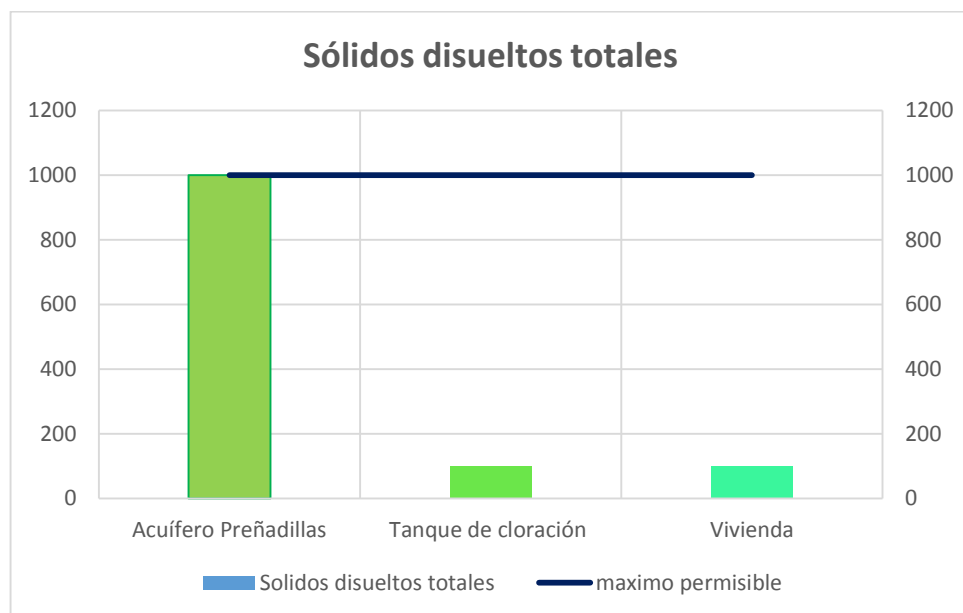
### c) Turbidez

La turbidez es una medida, en la cual, el agua pierde su transparencia debido a partículas en suspensión o llamada escorrentía, crecimiento de algas o sedimentos de la erosión. Estos dos últimos se presentaron en la zona de la fuente hídrica con 0,13 NTU, además la turbiedad presenta un valor alto a comparación de las otras muestras de agua por no poseer mucha filtración en el acuífero.

### d) Conductividad del agua

La conductividad eléctrica es la capacidad de un individuo para dar paso a la corriente eléctrica, misma que se determinada por la presencia de sales disueltas en el agua.

### e) Sólidos disueltos totales



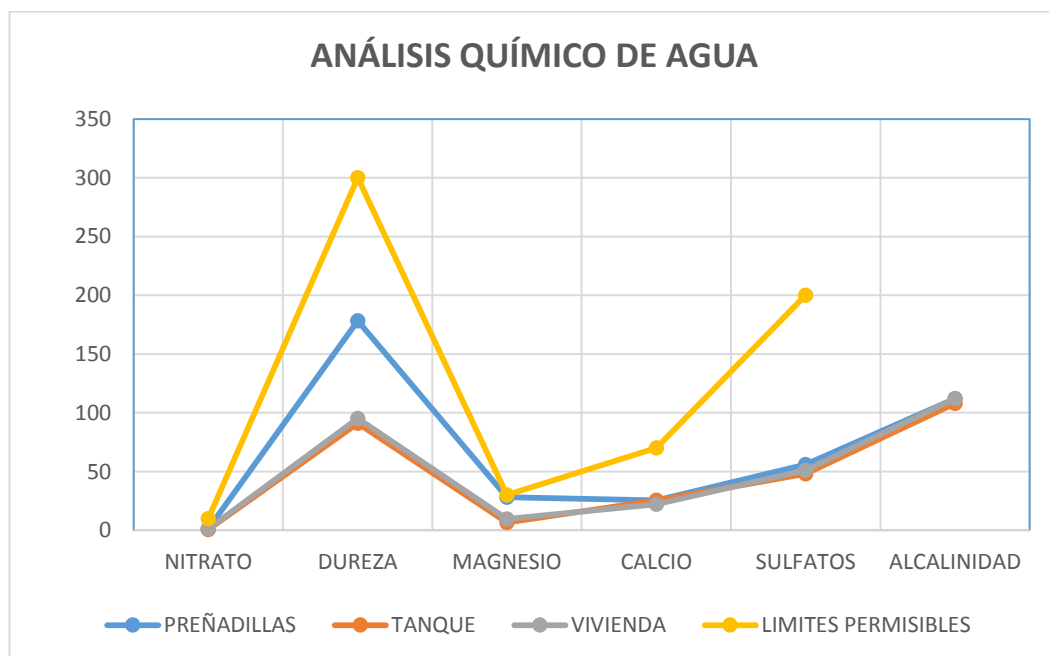
**Gráfico 10.** Sólidos disueltos totales en el agua

**Elaborado por:** Erika Magaly Pule Mejía.

En el gráfico 10 se observa que los sólidos disueltos totales en la muestra de agua del acuífero de Preñadillas se encuentran al límite del rango permisible de las normas INEN 1108, pero al pasar al tanque de cloración y de vivienda se encuentran con un valor normal de 100 mg/l para ambos. Para la OMS (2006), la concentración de Sólidos disueltos totales (SDT) debe ser menor que 600 mg/l para considerarse buena. Las concentraciones mayores aproximadamente a 1000 mg/l, la palatabilidad del agua de consumo se puede disminuir significativamente. Uno de los efectos de la alteración de SDT son las excesivas incrustaciones en tuberías, calentadores y electrodomésticos, sin embargo no se propone ningún valor de referencia basándose en los efectos de la salud.

#### 4.5.2 Análisis químicos del agua

Los parámetros químicos se relacionan con la capacidad que tiene el agua para disolver sustancias que se encuentran presentes en la misma, como: nitrato, dureza, magnesio, calcio, alcalinidad total y sulfatos no exceden los límites permisibles. Detallados en la gráfica 11.



*Gráfico 11. Análisis Químico de agua de Preñadillas*

**Elaborado por:** Erika Magaly Pule Mejía.

#### **a) Nitrato**

La presencia de valores altos de nitratos en el agua se debe a la contaminación por uso excesivo de fertilizantes, degradación de materia vegetal o animal muerta y presencia de heces fecales. Para las normas INEN 1108 el valor límite permisible es de 50 mg/l, pero en los tres lugares de estudio existen valores muy bajos que indican que el agua es apta para el consumo humano. Según la OMS (2006), la concentración de nitrato en aguas subterráneas y superficiales suele ser bajas, pero corren peligro por alta infiltración o escorrentías de tierras agrícolas y, también su valor permisible es de 50 mg/l.

#### **b) Dureza**

En la fuente hídrica Preñadillas se puede examinar que la dureza tiene un rango que sobrepasa los 178,02 mg/l. Por ser un acuífero carbonatado (calizas) presenta mayor dureza de calcio y magnesio, FACSA, (2016). No se establece límite para este parámetro porque la Organización Mundial de la Salud determina cuando la dureza del agua es alta pero no produce ningún efecto pernicioso para la salud de las personas.

#### **c) Magnesio**

El Magnesio tiene una presencia de 28,01mg/l en el acuífero de Preñadillas, pero según los parámetros del INEN su límite es de 30 mg/l. Aunque no excede, es un valor considerable. Si bien este elemento no es tóxico para la salud humana se debe tener cuidado.

#### **d) Sulfatos**

La presencia de sulfatos en el agua de consumo humano puede apreciarse en su sabor. Los niveles altos provocan un efecto laxante. La OMS (2006) no calcula ningún valor de referencia basado en efectos sobre la salud, pero produce secuelas gastrointestinales con concentraciones de 1000 a 1200 mg/l.

#### **e) Alcalinidad total**

La alcalinidad en el agua puede ser provocada por la presencia de moléculas de minerales como es el caso del carbono en suspensión. En el estudio se observó que el valor más alto es de 112 mg/l, pero la norma INEN 1108 no muestra ningún rango de valor permisible para la salud humana.

#### **f) Hierro**

Existe un valor de 0,02 mg/l de hierro en el lugar de la captación, cuando el agua transita al tanque de cloración y al domicilio este mineral disminuye a cero. Según la OMS (2006), el valor registrado de hierro en este estudio no es peligroso para la salud; además el sabor y aspecto del agua se ven afectados en concentraciones menores, del mismo modo, ayuda a la proliferación de bacterias ferruginosas que obtienen su energía de la oxidación del hierro ferroso a férrico, se deposita una capa viscosa de coloración café. El único daño que puede causar el hierro es provocar problema en el sistema de abastecimiento, tuberías y en los domicilios.

#### **4.5.3 Análisis microbiológicos del agua**

Los análisis microbiológicos se los realizó con mucho cuidado para no alterar sus resultados. La verificación de la calidad microbiológica del agua es prioridad para la salud humana, un tratamiento no adecuado puede causar grandes brotes de enfermedades. El estudio del agua se sujetó a los siguientes parámetros: coliformes totales y *E. coli*, los mismos determinaron las concentraciones de patógenos específicos. Según la OMS (2006), no debe existir *Escherichia coli* porque es indicador de contaminación fecal. Los coliformes totales analizan a bacterias, virus y parásitos, este parámetro no registro presencia alguna.

## **4.6 PROPUESTA DE PLAN DE MANEJO**

La propuesta de plan de manejo del acuífero Preñadillas, tiene como principal propósito establecer criterios políticos, sociales, económicos, ambientales y técnicos para un uso sostenido del agua, por parte de la población beneficiaria del cantón Mira.

La propuesta del plan de manejo se fundamenta en los elementos de la metodología CIPP (Contexto, Insumo, Proceso, Producto) que se presenta a continuación.

### **4.6.1 Definición del objetivo estratégico**

Para la definición del objetivo estratégico se respondió previamente las siguientes preguntas:

#### ***¿En qué consiste la propuesta de manejo del acuífero Preñadillas?***

Consiste en asegurar la sostenibilidad del agua, en cuestión de cantidad y calidad para los consumidores del Cantón Mira que son favorecidos con este recurso natural.

#### ***¿Cuáles son las premisas de la propuesta?***

Existen dos premisas, la primera es la articulación entre los dos GADS: el Municipio de Espejo dentro del cual se reconoce la jurisdicción política del acuífero Preñadillas y el Municipio de Mira que abastece a su población.

La otra premisa establece el manejo del agua para su sostenibilidad en el tiempo con criterios: políticos, sociales económicos y ambientales.

#### ***¿Cuáles son los aspectos de la propuesta, están ya validados?***

Los aspectos validados son los siguientes: la identificación de los actores claves para la formulación e implementación de la propuesta; parámetros técnicos que aseguran la



calidad del agua; metodología participativa de diagnóstico, planificación, seguimiento y sistematización.

***¿Cuáles son las fortalezas de la propuesta?***

Se registraron como fortalezas las siguientes: la calidad y cantidad de agua potable necesaria para abastecer a los habitantes, pero también, puede cubrir el incremento de la población; otra fortaleza es la poca intervención antropogénica en la recarga hídrica que corresponde al cerro Iguan. Aún mantiene los ecosistemas en equilibrio.

***¿Cuáles son las debilidades de la propuesta?***

La principal debilidad que presenta esta propuesta es el limitado personal técnico que tiene el GAD de Mira y Espejo, para dar seguimiento a las actividades que se desarrollan en este lugar.

***¿Quiénes son los potenciales socios institucionales de la propuesta?***

Los socios potenciales de la propuesta son instituciones del sector público: el GAD Mira y GAD Espejo; organizaciones no gubernamentales entre las cuales se encuentra el Grupo RANDI RANDI que trabajan por el desarrollo del pueblo, organizaciones comunitarias como Chitacaspi, Palo Blanco y El Corazón y, empresa de agua EMAPA-E.

***¿Dónde están localizadas las potenciales instituciones?***

Las potenciales instituciones se encuentran localizadas dentro de las jurisdicciones cantonales de Espejo y Mira. La otra no gubernamental, Randi Randi, de cobertura nacional pero que trabaja con comunidades vulnerables que benefician al cantón Mira.

*¿Qué objetivos tienen las potenciales instituciones?*

Cada institución tiene diferentes objetivos a cumplirse en su ámbito, sin embargo sus objetivos son similares y convergen en buscar un mejoramiento de las condiciones de vida de los habitantes de sectores en donde tienen injerencia estas instituciones.

*¿Cuáles factores facilitan su participación en la propuesta?*

Los factores que facilitan la participación de la propuesta son: la naturaleza con los objetivos que tiene los actores; influencia del contexto externo sobre la conservación y uso sostenible de los recursos naturales, particularmente del agua.

*¿Qué factores limitan su participación en la propuesta?*

Los factores que limitan la participación en la propuesta son: la disponibilidad de recursos financieros de los GADS, poca inversión para el ámbito del medio ambiente, cambios de autoridades que dificultan la continuidad de los procesos iniciados.

En la actualidad no existen ordenanzas municipales de los cantones Mira y Espejo que estén involucradas en el tema hidrológico.

El objetivo estratégico de la propuesta del plan de manejo de acuífero de Preñadillas se describe a continuación:

**Garantizar el suministro de agua para el consumo humano en el cantón Mira bajo la gestión de instituciones público privadas, enfocadas en mantener la calidad y cantidad del agua en el marco del ordenamiento y uso del territorio como también en la conservación de ecosistemas que aportan a la regulación hidrológica.**

#### **4.6.2 Análisis del contexto**

Una vez ya definido el objetivo principal se procedió a analizar el contexto externo e interno bajo la dimensión legal, institucional y/o organizacional.

##### **a) Contexto externo**

- **Constitución del Ecuador**

Varios de los postulados de la Constitución de la Republica del 2008 dan cuenta del uso y manejo sostenible de los recursos naturales, entre ellos el agua.

La sección específica que aborda los temas inherentes al agua, son los siguientes: Capítulo segundo Derechos del buen vivir. Sección primera Agua y alimentación Art. 12.- El derecho humano al agua es fundamental e irrenunciable. El agua constituye patrimonio nacional estratégico de uso público, inalienable, imprescriptible, inembargable y esencial para la vida.

Art. 318.- 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.

- **Institucional SENAGUA**

La Secretaría Nacional del Agua es la autoridad única que ejerce rectoría, coordina, planifica y ejecuta políticas sobre el agua, además de otorgar autorizaciones del servicio del agua, dividiéndose en nueve demarcaciones hidrográficas entre ellas Mira en la que tiene un subsecretario en cada sector y la participación los usuarios.

- **Consejo Intercultural y Plurinacional del Agua**

Es una instancia nacional que se enfoca en la planificación y control participativo de los recursos hídricos, y así ejerce una distribución equitativa del agua.

- **Organizaciones a nivel mundial**

A nivel mundial existen varias organizaciones que desarrollan acciones en pro de la protección, conservación, uso y manejo sostenible de los recursos hídricos, entre estas se destacan varias del sistema de Naciones Unidas (PNUD, FAO, UNESCO) y otras, tales como UICN.

#### **b) Contexto interno**

- Los habitantes del Cantón Mira poseen solo el 60,91% de disponibilidad de agua potable, mientras que para los otros se abastecen de pozos o ríos cercanos.
- En la jurisdicción del cantón Mira existen dos juntas de agua cuyas acciones se orientan al manejo del agua para riego, estas son Pisquer y Mira, pero se subdividen en óvalos de agua de riego.
- La pobreza del Cantón Mira es de 74,7% y de Espejo es de 64%, lo cual denota que entre las necesidades básicas insatisfechas se encuentra agua segura.

#### **4.6.3 Actores**

Se enfoca en actores internos y externos, para asumir la propuesta del manejo del acuífero Preñadillas.

##### **a) Actores internos**

Se consideran importantes las instituciones detalladas en la siguiente tabla:

**Tabla 18.** Instituciones sociales de los cantones Espejo-Mira

<b>NOMBRE</b>	<b>SIGLAS</b>	<b>TIPO</b>
Gobierno Autónomo Descentralizado del Cantón Mira	GAD-MIRA	ESTATAL
Gobierno Autónomo Descentralizado del Cantón Espejo	GAD-ESPEJO	ESTATAL
Gobierno Parroquial San Isidro	GAD-SAN ISIDRO	ESTATAL
Gobierno Autónomo Descentralizado Provincial del Carchi	GADPC	ESTATAL
Ministerio del Medio Ambiente	MAE	ESTATAL
Ministerio de agricultura, Ganadería, Acuicultura y Pesca	MAGAP	ESTATAL
Mancomunidad de la Cuenca del Río Mira	MACRM	ESTATAL
Empresa Pública de Agua y Alcantarillado – Espejo	EPMAPA-E	ESTATAL
Cuerpo de Bomberos del Gobierno Municipal del Cantón Mira	CBGMM	ESTATAL

Continuación.../...

Continuación.../...

Cuerpo de Bomberos del Gobierno Municipal del Cantón Espejo	CBGME	ESTATAL
Unidad Operativa de Salud Mira		ESTATAL
Unidad Operativa de Salud San Isidro		ESTATAL
Hospital de El Ángel		ESTATAL
Junta de aguas de riego acequia Pueblo Viejo		ESTATAL
Junta de aguas de riego acequia Mira		ESTATAL
Junta de agua de riego San Isidro		ESTATAL

**Elaborado por:** Erika Magaly Pule Mejía.

Todas las instituciones descritas anteriormente se encuentran ubicadas en los cantones de Mira y Espejo que tienen objetivos semejantes a la propuesta enfocada en el ámbito ambiental.

El municipio de Mira en el sistema ambiental se orienta en las condiciones de sustentabilidad y también aborda las amenazas naturales y socioculturales existentes y potenciales, con el fin de reducir el deterioro ambiental y solventar las necesidades presentes y futuras.

La red hidrográfica del cantón está conformada por los ríos Baboso, Blanco, Caliche, Chinambí, Chorreras, El Ángel, Jordán, Plata, Santiaguillo, Tablas, Verde, Camumbí, Gualpí, Pablo, de la Plata y una serie de quebradas que nacen en áreas boscosas y zonas

de páramo de la cordillera occidental y sus estribaciones, entre ellas La Loma, La Chimba, Pisquer, Miravalle, entre otras. El 37,62% del territorio presenta un rango entre 400 - 600 mm de déficit hídrico, afectando en un buen porcentaje a las Microcuencas de la Chimba, Río Santiaguillo, La Loma y en una pequeña parte al del Río Plata.

El Municipio de Espejo se enfoca en los impactos y niveles de contaminación ambiental como se tienen a continuación: el agua es un recurso que se degrada por la contaminación y el efecto es la pérdida de calidad de agua en tres ríos Mal Paso, Cariacu, El Rosa y el Río el Colorado del cual se toma seis sistemas de riego concesionadas.

Otra actividad es el control en el ordenamiento territorial del sector de Preñadillas y sus alrededores por encontrarse el acuífero en su jurisdicción, aclarando que la tendencia de la tierra del mencionado acuífero pertenece al Municipio de Mira.

Los GADS Cantonales y Parroquiales como también la prefectura del Carchi son organizaciones gubernamentales que tienen la visión institucional de promover el desarrollo y el bienestar de todos los habitantes de la provincia. Sin embargo el GAD Parroquial San Isidro no cuenta con la delimitación de áreas protegidas, bosque protector o alguna iniciativa por integrar y realizar algún tipo de manejo con los pocos remanentes de vegetación, bosque o páramo que todavía se conservan y que están sufriendo una degradación rápida por las actividades antrópicas.

Existen juntas de agua que se presumen implementan la gobernabilidad de los recursos hídricos en el marco de la nueva ley Orgánica de Recursos Hídricos Usos y Aprovechamiento del Agua, al garantizar la sostenibilidad del recurso para su uso, además de la protección de las fuentes, cuencas hidrográficas y ecosistemas.

## **b) Actores externos**

La ONG Grupo Randi Randi trabaja en diferentes proyectos que se dedica a conservar el medio ambiente en especial los páramos, a través de financiamiento nacional e internacional, promueve investigación y asistencia técnica a las comunidades y

organizaciones locales asentadas en ecosistemas amenazados, esta ONG permite incorporar temáticas ambientales abriendo puertas para seguir recursos económicos.

#### **4.6.4 Factores**

Existen los factores impulsores y restrictivos indicándose según su naturaleza:

##### **a) Factores impulsores**

- La recarga hídrica del cerro Iguan es una zona protegida, que aporta sustancialmente a mantener la cantidad y calidad del agua.

En cuanto a las características químicas del agua subterránea, estas son controladas por la litología que presenta el lugar, las interacciones que se producen en el sitio son responsables de los cambios que presente el agua en su composición química, lo cual contribuye a la no presencia de coliformes fecales, los cuales son básicos en los análisis microbiológicos.

- El acuífero registra un caudal de 15 litros/segundo, el mismo que es suficiente para cubrir la demanda de agua potable de los habitantes del cantón Mira, además es importante señalar que este caudal podrá abastecer un incremento importante de la demanda futura de agua.
- Línea base sobre información meteorológica e hidrológica establecida mediante este estudio, constituye un aporte fundamental para la toma de decisiones técnico políticas.

##### **b) Factores restrictivos**

- Los resultados señalan un incremento de sólidos disueltos totales en el agua, los cuales aumentan las excesivas incrustaciones en tuberías, calentadores y electrodomésticos dañándolos por completo.



- El tipo de tubería de captación del afluente es obsoleto lo cual genera fugas de agua.
- La presencia de valores altos de sulfatos se debe a la contaminación por uso excesivo de fertilizantes, degradación de materia vegetal o animal muerta que percute en la salud de los habitantes que consumen.
- El acuífero es vulnerable a contaminarse derivado de actividades antrópicas tales como ganado, agricultura o fenómenos naturales tipo escorrentías que podrían llegar al punto de captación del agua.

#### **4.6.5 Acciones**

Las acciones propuestas son las siguientes:

##### **Línea de acción 1: participación ciudadana**

###### **1. Objetivo:**

Incrementar la participación de la ciudadanía en la toma de decisiones inherentes al manejo y uso del agua desde las fuentes de abastecimiento hasta el tratamiento de aguas servidas.

###### **2. Acciones sugeridas:**

- Convocar a reuniones para organizar un comité ciudadano que lidere las actividades a desarrollarse en pro de lograr una mayor y mejor participación de los usuarios del agua del cantón Mira.
- Diseñar un plan estratégico que oriente la participación de la ciudadanía en todo lo concerniente al manejo del agua.

## **Línea de acción 2: Incrementar conciencia ciudadana**

### **1. Objetivo**

Diseñar una estrategia para que la ciudadanía se informe y concientice de la importancia del mantenimiento de las recargas hídricas y del acuífero.

### **2. Actividades sugeridas**

- Diseño de una estrategia liderada por los GADS Mira y Espejo, que desarrolle la importancia del agua, su manejo, funcionalidad y conservación.
- Difusión de la estrategia por medio de diálogos y medios de comunicación local (radio, prensa).
- Identificación de planteles educativos, siendo ejes claves para la difusión de charlas de conservación de los acuíferos.

## **Línea de acción 3: Dotación de recursos técnicos GAD Mira**

### **1. Objetivo**

Implementar un área técnica dentro del GAD Mira que se enfoque en el cuidado del acuífero Preñadillas.

### **2. Actividades sugeridas**

- Contratación de personal especializado en el área de conservación de fuentes hídricas.
- Elaboración de líneas estratégicas por parte del personal calificado.
- Dotación de instrumentos técnicos para llevar a cabo en campo.

- Financiamiento permanente por parte del municipio de Mira para este departamento.

#### **Línea de acción 4: Difusión de marcos legales**

##### **1. Objetivo**

Promover el conocimiento respecto a las políticas, estrategias, lineamientos y normas vigentes en la materia del manejo de los recursos naturales en especial al uso del agua y suelo.

##### **2. Actividades sugeridas**

- Establecer alianzas estratégicas GADS Mira Espejo, Prefectura del Carchi, con organizaciones nacionales e internacionales como MAGAP, MAE A fin de direccionar sus esfuerzos hacia ampliar el conocimiento de las normas y políticas vigentes.

#### **Línea de acción 5: Sistematización de experiencias generadas con la propuesta del acuífero Preñadillas.**

##### **1. Objetivo**

Fomentar experiencias de los pueblos cercanos para que se facilite las prácticas en uso del suelo a fin de que sea una exploración responsable del manejo de humedales y de recursos hídricos.

##### **2. Actividades sugeridas**

- Caracterizar varios de los escenarios administrativos con el propósito de obtener una información sobre los procesos y resultados a aplicar la propuesta.

- Ejecutar un taller de cartografía participativa del medio ambiente para solventar las necesidades presentes y futuras.
- Realizar análisis de agua periódicamente para comparar y hacer los tratamientos permanentes para lograr una buena calidad de agua.

# CAPÍTULO V

## DISCUSIÓN

### 5.1 CARACTERIZACIÓN DE ECOSISTEMAS

En la tabla 19 del inventario florístico de Preñadillas, existe predominancia de dos especies arbóreas; una introducida como es Mirtaceae: *Eucalyptus globulus* y otra nativa Araliaceae: *Oreopanax ecudorensis*, de las arbustivas es la familia Asteraceae: *Baccharis trinervis* y de las herbáceas la familia Melastomataceae: *Miconia bracteolata*, propias de la zona. En lo referente al estudio de Cadena (2010), las familias arbóreas de especies introducidas son Cupressaceae *Cupressus macrocarpa*, Mirtaceae *Eucalyptus globulus*, y de familias nativas se encontró: Betulaceae *Alnus acuminata*, Mimoseaceae *Mimosa sp.*

**Tabla 19.** Inventario florístico -Macro invertebrados

FAMILIA	GENERO	ESPECIE
ASTERÁCEAE	<i>Baccharis chilco</i>	Chilca
ASTERÁCEAE	<i>Baccharis arbutifolia</i>	Chilca
ARALEACEAE	<i>Oreopanax sp.</i>	Pumamaqui
BETULACEAE	<i>Alnus acuminata</i>	Aliso
CUPRESSACEAE	<i>Cupressus macrocarpa</i>	Cípres
EUPHORBIACEAE	<i>Euphorbia laurifolia</i>	Lechero
MIRTACEAE	<i>Eucalyptus globulus</i>	Eucalipto
FABACEAE	<i>Lupinus sp.</i>	Falso chocho
MIMOSACEAE	<i>Mimosa sp.</i>	Espino
PACIFLORACEAE	<i>Pasiflora tripartita</i>	Taxo silvestre
ROSACEAE	<i>Rubus roseus</i>	Mora blanca
PIPERACEAE	<i>Piper aduncun</i>	Cordoncillo

**Fuente:** Cadena Luis (2010)

Esta investigación se realizó en el caserío de Ingueza a tres kilómetros de la zona de estudio, al noreste, encontrándose a 3020 m.s.n.m. solo diferenciándose de un pequeño rango de altitud de 3085 m.s.n.m., esto quiere decir que las especies de la tabla 19, son semejantes a las especies encontradas en el sitio Preñadillas.

Otro estudio es de Cerón & Rodríguez (2010), que tuvo lugar en la Reserva Ecológica El Ángel (REEA) provincia del Carchi, presentando una diversidad florística con cinco parcelas al azar para la recolección de la información requerida, utilizando la metodología de transectos aplicada por Gentry. Encontrándose como dominancia la familia Araleaceae con la especie de *Oreopanax*, por ser un área boscosa nativa, mientras que en Preñadillas por ser una plantación de *Eucalytus globulus* con regeneración natural.

**Tabla 20.** Inventario florístico páramo

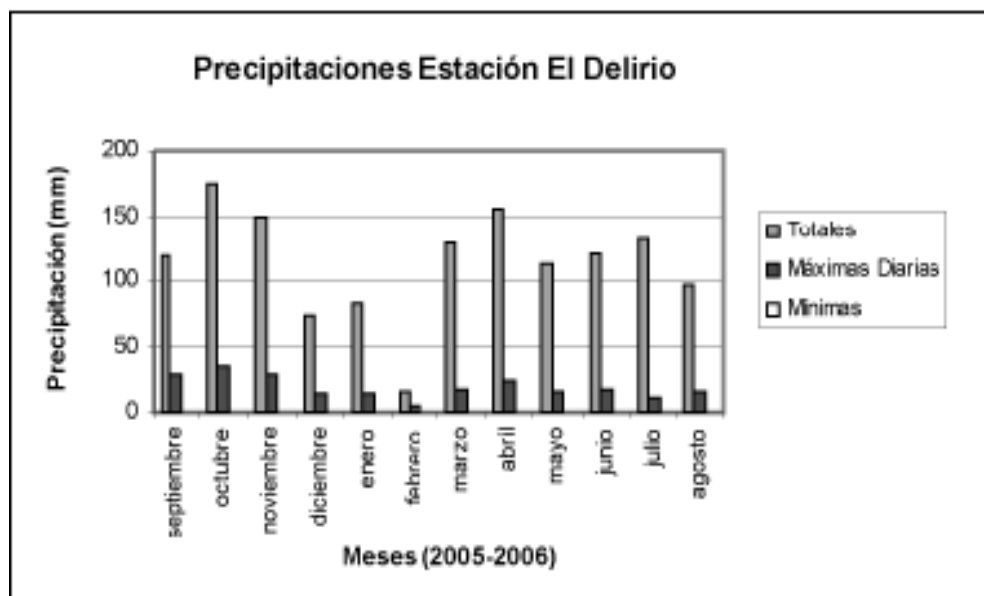
<b>FAMILIA</b>	<b>GENERO</b>	<b>ESPECIE</b>
<b>ARALEACEAE</b>	Oreopanax	Oreopanax aff ecuadorensis
<b>ROSACEAE</b>	Polylepis	Polylepis sericea
<b>ARALEACEAE</b>	Oreopanax	Oreopanax mucronulatus
<b>ROSACEAE</b>	Polylepis	Polylepis incana
<b>ASTERACEAE</b>	Gynoxys	Gynoxys acostae
<b>CUNONACEAE</b>	Weinmannia	Weinmannia pinnata
<b>BUDDLEAJACEAE</b>	Buddleja	Buddleja pichinchensis
<b>CAPRIFOLIACEAE</b>	Viburnum	Viburnum hallii
<b>BUDDLEAJACEAE</b>	Buddleja	Buddleja aff, Multiceps

**Fuente:** Cerón y Rodríguez (2010)

En cuanto al estudio de Paucar Buñay (2011), realizó una composición florística calificativa en la parroquia Matriz, cantón Patate, provincia de Tungurahua, se localizó 34 familias, 48 géneros y 42 especies. La familia con mayor número de especies fue Asteraceae, seguida de Urticaceae con 5 especies predominando Pumamaqui. Se trazó transectos de 1000m<sup>2</sup> mientras que en la plantación de eucalipto es de 500m<sup>2</sup> por lo que se tienen menos familias y especies registradas.

## 5.2 BALANCE HÍDRICO

La investigación de García (2007), indica que el balance hídrico se efectuó en la cuenca del río San Cristóbal en la ciudad de Bogotá, efectuándose bajo tres coberturas de *Cupressus lusitanica*, *Eucalyptus globulus* y bosque nativo, los valores de percolación en el suelo se midieron a más de 0,20 cm de profundidad encontrando 0% para ciprés por la retención de agua en la capa orgánica en la parte superior, 8,9% eucalipto y 7,4% bosque nativo, mientras que en el estudio actual se realizó a 60 cm de profundidad del suelo, de lo cual la plantación registró 0,55% y pasto es de 9,8% estos valores se deben a la profundidad que se implementaron los sensores.



**Gráfico 12.** Régimen de lluvias medias mensuales en la cuenca del río San Cristóbal.

**Fuente:** García (2007)

Se observó que existe correspondencia entre los almacenamientos hallados en los balances hídricos y la regulación de los caudales siguiendo un orden entre las microcuencas.

Por otra parte el estudio de Giraldo (1999), midió la humedad del suelo en una zona vadosa, entre la superficie del suelo y un acuífero saturado, con plantaciones de coníferas, el flujo es inestable por presentar grietas, pero la dinámica del agua en el suelo es determinada por la permeabilidad de suelos forestales presentes. En este estudio no se encontró diferencia significativa con el bosque nativo y plantación de coníferas. A comparación de la actual investigación se evidencia mayor humedad del suelo en el pasto a comparación de la plantación forestal porque contiene un suelo compactado, manteniendo así la humedad.

En cuanto a la investigación que se efectuó en el país de Chile con parcelas de pino y otra de eucalipto midiéndose esta la precipitación directa de 97% afirmando que existe una mayor precipitación a diferencia de la plantación de *Pinus radiata* de 93,4% siendo altamente correlacionados Oyarzún & Humber, (1999). Para la plantación forestal en Preñadillas se estima que tiene una precipitación de 110,77 mm durante los meses de marzo hasta agosto se tiene estos valores por la toma de datos solo de seis meses.

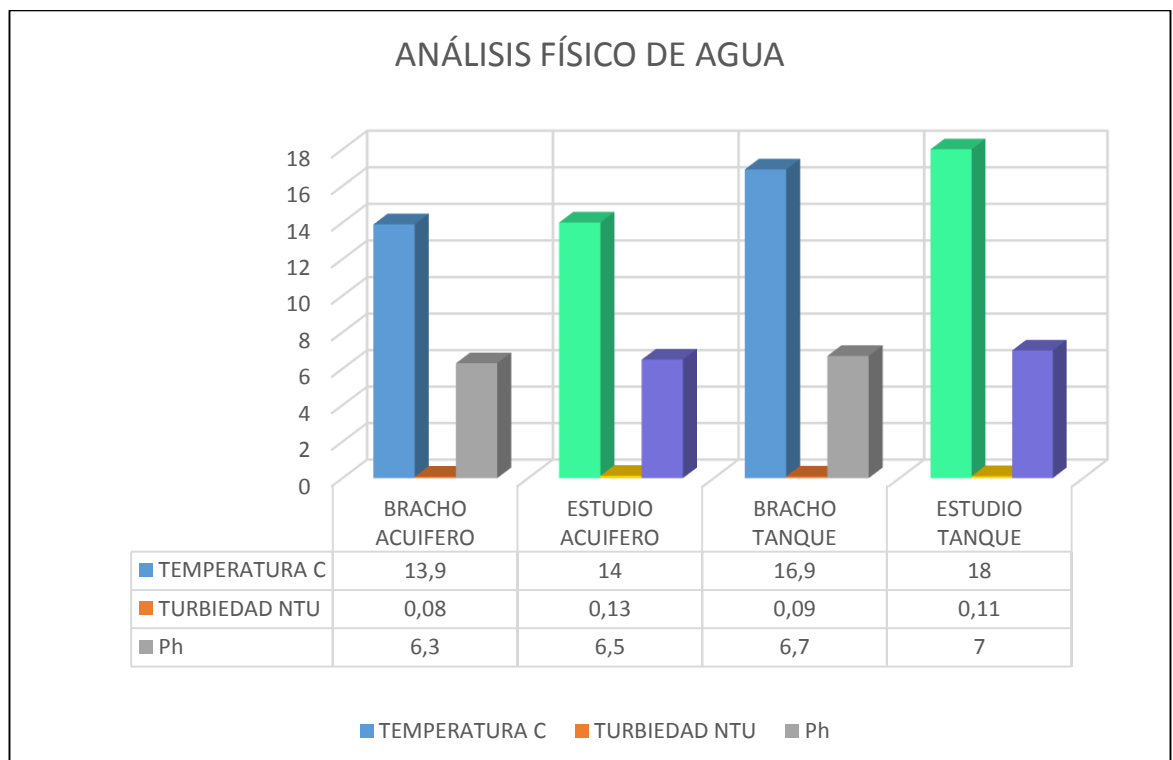
Con respecto al contenido de humedad que se lo realizó en Preñadillas y Chitacspi, los cálculos se empleó con van Genuchten (1980). La plantación forestal presenta valores observados  $\theta$  con una humedad estable de 0 - 917,74 cm, desde el mes de marzo a mayo, pero en junio hasta agosto baja la humedad del suelo de 1631,54 - 1937,46 cm. El ecosistema pasto presenta otro tipo de humedad no se evalúan cambios considerables en los seis meses existen rangos de 0 -346,70 cm, indicando que es un suelo húmedo. Para la investigación de García (2012), estima los valores simulados y observados al ser similares por su magnitud y tendencia de tres pozos de monitoreo de un rango 0,04 - 0,08 cm pero con profundidades de 4,6 - 9,5 y 13,8 m en 350 días de toma de datos simulando que son pozos estables en cuanto a la humedad, a medida que la profundidad aumenta, el valor de este parámetro también decrece.



Para el mismo caso se toma en cuenta García (2012), la calibración del modelo se efectuó con Nash- Sutcliffe (1970) y  $R^2$ , en  $NS$ , indican que la dinámica de los resultados es menor a lo observado, sin embargo cuantitativamente este valor es menor a cero, a comparación del estudio actual se contempla en la plantación forestal un valor de 0,9 en los dos indicadores interpretando que es semejante a los valores observados, para el sitio de Chitacaspi el  $NS$  es de 0,5 y  $R^2$  es de 0,9 estableciéndose en los rangos aceptables en este estudio porque se toma en cuenta la calibración con evapotranspiración y de tensión inicial.

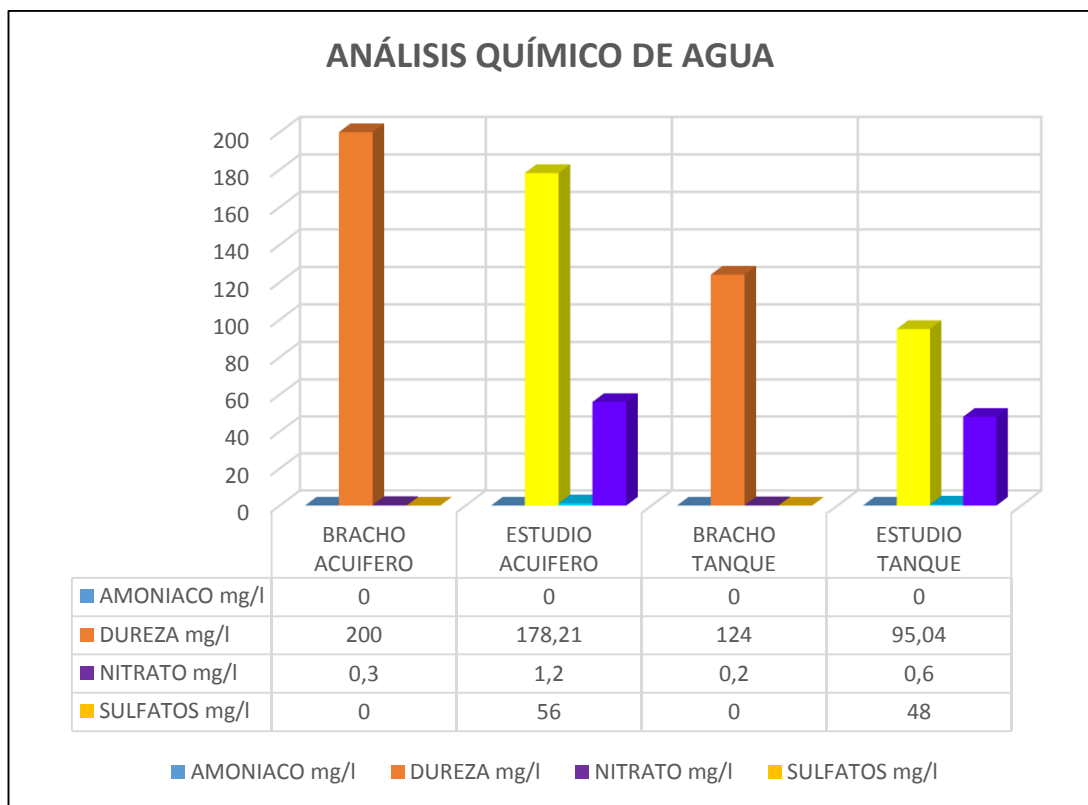
### 5.3 CALIDAD DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO

Un estudio realizado por Bracho (2014), en el acuífero de Preñadillas se realizó dos muestras de agua; en la fuente hídrica y la otra en el tanque de cloración La Tola, ejecutándose estos análisis en la Empresa Municipal de Agua Potable y Saneamiento Ambiental de Espejo, especificándose en los siguientes gráficos:



**Gráfico 13.** Comparación de parámetros físicos del agua de Bracho – actual investigación (Pule)  
**Elaborado por:** Erika Magaly Pule Mejía.

En los análisis físicos del agua se toma en cuenta los factores más importantes para el consumo humano como son: temperatura, turbidez del agua y pH, descrito en el gráfico13, haciéndose una relación del estudio de Bracho y el actual estudio, pero no se encontró una diferencia significativa en cuanto a los datos recolectados para las investigaciones porque se basó según la tabla TULSMA sobrepasando el valor permitido, indicando que hay una mínima incidencia de partículas en suspensión, pero en los análisis recientes se rigen a las Normas INEN 1108.



**Gráfico 14.** Comparación de análisis químico de agua de estudio de Bracho – Pule

**Elaborado por:** Erika Magaly Pule Mejía.

Así mismo se realizó con el análisis químico del agua observándose en el Gráfico 14. Para el Amoniaco no existe variabilidad en las dos muestras, a diferencia de la dureza con cambios significativos de 200 mg/l a 178,21 mg/l. En el nitrato se observa que en la investigación del plan de manejo de la fuente hídrica es de 0,3 mg/l y para la del balance

hídrico es de 1,2 mg/l puede generarse por el manejo inadecuado de los terrenos cercanos que se han efectuado durante un año.

La incidencia de sulfatos en la investigación de Bracho (2014), es de 0mg/l para los dos sitios, mientras que en esta investigación en el acuífero es de 56 mg/l y en el tanque de cloración es de 48 mg/l, su aumento puede ser por las florícolas presentes en la zona aunque no exceden los límites permisibles de las normas INEN 1108.

En los análisis microbiológicos, en los dos sitios no existe presencia de coliformes totales al no estar al aire libre, sino en taques de captación, dando a deducir que el agua de la fuente de Preñadillas es idónea para el consumo humano.

Otra investigación es de Chiles (2015), de la calidad y cantidad de agua de las juntas administradoras de agua potable del cantón Montufar, que se encuentra colindante hacia el oeste con el cantón Espejo, con una temperatura que varía entre 8,63 °C a 12,5 °C. Para esta investigación se analizó y comparó los resultados obtenidos en el laboratorio con la norma INEN 1108, con análisis de agua de 32 juntas estudiadas.

### **5.3.1 Parámetros físicos**

En los parámetros físicos se encuentran analizados (pH, color, turbiedad, sólidos disueltos totales y conductividad).

#### **a) Potencial de hidrógeno**

En cuanto al potencial de hidrógeno algunas juntas presentan valores de pH menores al límite inferior que la norma exige, pero no representa ningún riesgo para la salud.

#### **b) Color**

El color de las juntas de Cumbaltar y San Cristobal presentaron problemas de coloración de agua, debido a que sus valores exceden a 15 (Pt - Co) con presencia de manganeso,

hierro, níquel, humus o de materia orgánica en cuanto para este estudio los valores son 0 (Pt - Co) porque tiene una buena incidencia de la turbiedad.

### **c) Turbiedad**

En los dos estudios no existe problema con este parámetro por la presencia de partículas de suspensión, fitoplancton, crecimiento de algas, escorrentía o sedimentos presentes.

El estudio de Tituaña, (2011) realizado un manejo de la microcuenca en la quebrada de San Antonio de Ibarra con una altitud de 4 100 m.s.n.m y 2 200 m.s.n.m. dentro del callejón interandino. Se consideran los parámetros químicos de este sector:

### **d) Nitratos**

Existen rangos de 4 - 6 mg/l que no se sobrepasa de los límites permisibles según la norma INEN 1108 que es de 50 mg/l. Pero estos valores son superiores a los del estudio por lo que se presume que existe degradación de los recursos hídricos por explotación agrícola o gran presencia de la actividad agrícola.

### **e) Dureza total**

La dureza total del agua del estudio de Tituaña (2011), es de cinco muestras que tienen un rango de 114 - 131 mg/l no excede el límite permisible que es 300 mg/l, como también el actual estudio que es de 91 - 178 mg/l por ser agua subterránea, mientras que los otros son aguas superficiales.

### **f) Alcalinidad**

De 180 mg/l a 212 mg/l en el estudio efectuado en la quebrada de San Antonio pero en el estudio del acuífero se aprecia un rango de 108 - 112 mg/l, indicando que son similares en este aspecto, por presencia de carbonatos.

#### 5.4 RESPUESTAS A LAS PREGUNTAS DIRECTRICES

- **¿Cuáles serán las características de los diferentes ecosistemas forestales, en cuanto a estructura, composición y funcionalidad?**

En cuanto a la estructura y la composición se distingue el agroecosistema pasto predominantemente con la especie *Pennisetum clandestinum*. La plantación forestal tiene como su especie primordial con *Eucalyptus globulus* pero con presencia de regeneración natural de especies arbóreas *Oreopanax ecudorensis*, especies arbustivas y herbáceas.

La funcionalidad es que la plantación cumple un rol importante en cuanto a la protección del recurso hídrico manteniendo una buena calidad de agua, debido a que se minimiza la erosión del suelo, filtra contaminantes del agua en la hojarasca producida, reduce los sedimentos ocasionados por precipitaciones significativas. Además los análisis de agua son aptas para el consumo humano que indica que la vegetación está cumpliendo un rol en este ámbito.

- **¿Cuál será el balance hídrico de los diferentes ecosistemas investigados?**

Se encontró una condición desfavorable al balance hídrico bajo la cobertura de la plantación forestal al tener una humedad del suelo menor, por la densidad del bosque y la presencia de hojarasca que permite una rápida absorción de agua. Sin embargo contiene una rápida infiltración del agua en el suelo por la porosidad amplia que presenta.

El ecosistema pasto presenta un suelo saturado por la compactación del suelo que existe del pisoteo del ganado por tal razón la infiltración es lenta al ingresar al suelo.

- **¿Cuál es la calidad de agua del acuífero a nivel de la captación, en la parte media y en los domicilios?**

La calidad del agua es apta para el consumo humano, por cuanto los resultados de los análisis señalan que no existe presencia de coliformes fecales de acuerdo a las Normas INEN 1108 y la Organización Mundial de la Salud.

- **¿Cuáles serán los principales elementos estratégicos que formarán parte de la propuesta de manejo del acuífero?**

Los elementos estratégicos de la propuesta son: incrementar la participación de la ciudadanía en las decisiones del manejo y uso de agua, diseñar una estrategia para que la ciudadanía se informe de la importancia del mantenimiento de las recargas hídricas y promover el conocimiento de políticas, estrategias, lineamientos y normas vigentes en la materia del manejo de recursos del agua.

## CAPÍTULO VI

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 6.1 CONCLUSIONES

- Los ecosistemas que tienen influencia en el acuífero Preñadillas son: plantación de *Eucalyptus globulus* de ocho años con presencia de regeneración natural cuya función es de conservación de suelo; y el área de cubierta de pasto *Pennisetum clandestinum* donde se realiza pastoreo de ganado vacuno con presencia de suelo compactado.
- En la tensión del suelo del pasto tiene una humedad significativa y equilibrada en los seis meses de estudio, sin embargo en la plantación forestal en los meses lluviosos existe una humedad del suelo propia, pero en los meses secos el suelo se va secando paulatinamente hasta ser suelo insaturado.
- La calidad de agua del acuífero Preñadillas es buena en vista de que no presenta coliformes fecales, alteración de nitratos, sulfatos, pH, sólidos disueltos totales entre otros; por ende cumple con los estándares establecidos según las Normas INEN 1180 y de la Organización Mundial de la Salud.
- La propuesta diseñada para el manejo del acuífero está orientada a la participación de los actores locales tanto institucionales como a nivel de la ciudadanía, bajo el liderazgo del GAD Mira en alianza estratégica con el GAD Espejo, por cuanto se encuentra en su jurisdicción.

## 6.2 RECOMENDACIONES

- La plantación forestal debe convertirse en un área protegida para evitar así la intervención de la misma y que agentes contaminantes puedan disminuir la calidad del agua.
- El pasto por tener un suelo muy compactado se recomienda hacer lapsos de descanso para que crezca para alimentación del ganado.
- Mantenimiento del acuífero de Preñadillas para que no exista contaminación del agua.
- Aplicar de la propuesta del plan de manejo elaborada en el presente documento para un correcto ordenamiento del sector.
- Presencia de personal técnico que verifique el comportamiento del recurso hídrico para implementar nuevas técnicas que ayuden a que no desaparezca el afluente.



## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- FAO. (2002). *Estado de la diversidad biológica de los árboles de Honduras*. Obtenido de Estado de los recursos geéticos forestales: <http://www.fao.org/docrep/007/j0607s/j0607s03.htm>
- Aguirre Mendoza, Z. H. (2012). *Especies Forestales de los Bosques Secos*. Quito: Ministerio del Ambiente de Ecuador.
- Aguirre, Z., Peter Kvist, L., & Sánchez, O. (2006). Bosques secos en Ecuador y su diversidad. *Botánica Económica de los Andes Centrales*, 162-187.
- Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., & Smith, M. (1998). *Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements - FAO Irrigation and drainage paper 56*. Roma: FAO.
- Anaya Fernanadez, O. G. (2012). *Caracterización morfológica de la cuenca hidrográfica Chinchao, Distrito de Chinchao, provincia Huanuco, Región Huanuco*. Tingo María: Universidad Nacional Agraria de la Selva.
- Añazco, M., Morales, M., Palacios, W., Vega, E., & Cuesta, A. (2010). *Sector Forestal Ecuatoriano: propuestas para una gestión forestal sostenible*. Quito: Serie Investigación y Sistematización No.8. Programa Regional ECOBONA-INTERCOOPERATION.
- Artinaid. (12 de abril de 2013). *Artinaid*. Obtenido de Acuífero: <http://www.artinaid.com/2013/04/que-es-un-acuifero/>
- Asamblea Constituyente. (2008). *Constitución del Ecuador*. Quito: Asamblea Nacional .
- Bahamondes, R. (2009). *Manejo de cuencas hidrográficas*. Temuco: INIA.
- Bracho Palacios, D. G. (junio de 2014). *Repositorio Digital UTN*. Obtenido de Facultad en Ciencias Agropecuarias y Ambientales: <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/4341>
- Braojos Ruiz, J. J. (s.f.). Aproximación al cálculo de la lluvia horizontal y a su incidencia en la recarga del sistema acuífero de Tenerife.
- Bravo, E. (2003). *Industria camaronera en Ecuador*. sn: Acción Ecológica.
- Burbano, F. (1989). *Notas de hidrología forestal*. Quito: Universidad Técnica Del Norte.
- Cadena Carrera, L. F. (8 de diciembre de 2010). *Repositorio Digital UTN*. Obtenido de Facultad de Ingeniería en Ciencias Agropecuarias y Ambientales : <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/154>
- CARE; FORGAES. (sn de sn de 2013). *Agua y sociedad*. Obtenido de Manual de Manejo de Cuencas: <http://www.colsan.edu.mx/investigacion/aguaysociedad/proyectogro2/Biblioteca>

/Bibliografía/M%F3dulo%204/manual\_manejo\_de\_cuencas\_modulo\_1%5B1%5D.pdf

- Carrica, J., & Lexow, C. (2004). Evaluación de la recarga natural al acuífero de la cuenca superior del arroyo Naposta Grande, provincia de Buenos Aires. *Asociación Geológica Argentina*, 3.
- Casco, M. J. (19 de 05 de 2008). *Nuestros animales*. Obtenido de La vida de los bosques nublados del Ecuador: <http://nuestrosanimalesenpeligro.blogspot.com/2008/05/la-vida-de-los-bosques-nublados-del.html>
- Ceron Quel, P. E., & Rodriguez Patiño, S. G. (24 de Noviembre de 2010). *Repositorio Digital UTN*. Obtenido de Facultad de Ingeniería en Ciencias Agropecuarias y Ambientales: <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/119>
- Chiles Arévalo, G. V. (2015). *Repositorio Digital UTN*. Obtenido de “EVALUACIÓN DE LA CALIDAD Y CANTIDAD DE AGUA DE LAS JUNTAS ADMINISTRADORAS DE AGUA POTABLE DEL CANTÓN MONTÚFAR PARA EL DISEÑO DE UN PLAN DE MEJORAMIENTO Y APROVECHAMIENTO ADECUADO”:  
<http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/4329>
- Clements, R., & Haggard, J. (2011). *Technologies for Climate Change Adaptation - Agriculture*. Riso: UNEP.
- Conles, M., & Verzino, G. (2013). *Conservación de recursos Naturales Forestales Nativos de Argentina: El cultivo de plantas leñosas en vivero y a campo*. Argentina: Brujas.
- Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio. (03 de 12 de 2013). *Junta de Andalucía*. Obtenido de Restauración hidrológico- forestal: <http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/site/portalweb/menuitem.7e1cf46ddf59bb227a9ebe205510e1ca/?vgnnextoid=1ce88dc3ad98a210VgnVCM2000000624e50aRCRD&vgnnextchannel=d142de0eb9dc5310VgnVCM20000000624e50aRCRD&rating=1>
- Coppus, R., Endara, L., Nonhebel, M., Mera, V., León - Yáñez, S., Mena Vásquez, P., . . . Hofstede, R. (2001). *El estado de salud de algunos páramos en el Ecuador*. Quito: Abya Yala.
- Cordero Dominguez, I. (2013). *Evaluación de la gestión territorial de la cuencas del río Paute, estrategias y líneas de acción para superarlas*. Cuenca: Universidad De Cuenca.
- Custodio, G. (29 de abril de 1998). *Recarga a los acuíferos: aspectos generales sobre el proceso, la valoración y la incertidumbre*. España: Boletín Geológico y Minero. Obtenido de No siempre sembrar más árboles significa tener más agua:

<http://www.agenciadenoticias.unal.edu.co/ndetalle/article/no-siempre-sembrar-mas-arboles-significa-tener-mas-agua.html>

- Ecuador Forestal. (2007). *Planificación estratégica plantaciones forestales en el Ecuador*. Quito: CORPEI.
- El UNIVERSO. (miercoles de marzo de 2015). Segun INAMHI, fuertes lluvias podrían repetirse en el pais. pág. 3.
- ETESA. (02 de Diciembre de 2009). *Empresa de Transmision Electrica*. Obtenido de Evapotranspiración Potencial: [http://www.hidromet.com.pa/balance\\_hidrico.php](http://www.hidromet.com.pa/balance_hidrico.php)
- FACSA. (4 de Abril de 2016). *FACSA ciclo integral del agua*. Obtenido de CALIDAD DEL AGUA: <http://www.facsa.com/el-agua/calidad/la-dureza-del-agua>
- FAO. (2003). Ecología Forestal. *UNASYLVA*, 40-80.
- FAO. (2007). *Evaluación xontínua de los bosque tropicales*. Obtenido de Conservación del ambiente en las cuencas hidrográficas: <http://www.fao.org/docrep/P8250S/p8250s02.htm>
- FAO. (2009). *Los bosques y el agua*. Roma: FAO.
- FAO. (2010). *Evaluación de recursos forestales mundiales 2010*. Roma: FAO.
- FAO. (2015). *Paquete de informe sobre los bosques 2015*. Quito: FAO.
- Faustino, J. (2006). Curso de Posgrado: "Identificación, evaluación y manejo de zonas de recarga hídrica". *CATIE* (pág. 113). San Salvador: SV, CATIE.
- García Coll, I., Martínez Otero, A., & Vidriales Chan, G. (01 de febrero de 2012). *Balance Hídrico de la cuenca del Río Pixquiac*. Obtenido de "DELIMITACIÓN DE ZONAS PRIORITARIAS Y EVALUACIÓN DE LOS MECANISMOS EXISTENTES PARA PAGO DE SERVICIOS AMBIENTALES HIDROLÓGICOS EN LA CUENCA DEL RÍO PIXQUIAC, VERACRUZ, MÉXICO: [http://fmcn.org/wp-content/uploads/2012/02/01\\_Anexo1\\_INFORME\\_BALANCE\\_HIDRICO1.pdf](http://fmcn.org/wp-content/uploads/2012/02/01_Anexo1_INFORME_BALANCE_HIDRICO1.pdf)
- García Olmos, C. F. (2007). Regulación hídrica bajo tres coberturas vegetales en la cuenca del Rio San Cristóbal, Bogotá D.C. *UDISTRITAL*, 20.
- Generalitat de Catalunya. (17 de 03 de 2015). *Departamento de Agricultura, Ganadería, Pesca, Alimentación y Medio Natural*. Obtenido de Restauración Hidrológica forestal: [http://agricultura.gencat.cat/es/ambits/medi-natural/gestio-forestal/dar\\_obres\\_forestals/dar\\_restauracio\\_hidrologica\\_forestal/](http://agricultura.gencat.cat/es/ambits/medi-natural/gestio-forestal/dar_obres_forestals/dar_restauracio_hidrologica_forestal/)
- Giraldo, L. L. (1999). *Influencia de cinco especies forestales sobre la humedad del suelo*. Medellín: Universidad Nacional de Colombia.
- Gómez, S. (2009). *Modelo de cogestión adaptiva de cuencas hidrográficas subcuenca Aguas Calientes*. San Lucas: focuencas.

- González, J. M. (2013). Manejo de gestión Integral de Cuencas Hidrográficas. *Primera mesa de trabajo sobre manejo y gestión integrada de cuencas hidrográficas* (pág. 23). Campiña de Quijos: GIZ.
- Gregory, K., & Walling, D. (1973). *Drainage basin form and process: Geomorphological approach*. Londres- Inglaterra: Edgard Arnold.
- Hargreaves, G. H., & Samani, Z. A. (1985). *Reference crop evapotranspiration from temperature*. Michigan: American Society of Agricultural and Biological Engineers.
- Hesperian. (2011). *Guía comunitaria para la salud ambiental*. Español.
- IARNA. (22 de octubre de 2011). *INFOIARNA*. Obtenido de Ciclo Hidrológico: [http://www.infoiarna.org.gt/guateagua/subtemas/3/1\\_El\\_ciclo\\_hidrologico.pdf](http://www.infoiarna.org.gt/guateagua/subtemas/3/1_El_ciclo_hidrologico.pdf)
- Ibáñez Asensio, S., Moreno Ramón, H., & Gisbert Blanquer, J. (2004). *Morfología de cuencas hidrográficas*. Valencia: Departamento Produccion vegetal de Valencia.
- INIAP. (18 de Septiembre de 2011). *Agronegocios*. Obtenido de Erosión del suelo - tecnologías de conservación: [http://agronegocioecuador.ning.com/notes/Erosi%C3%B3n\\_del\\_suelo\\_avanza\\_en\\_el\\_pa%C3%ADs\\_INIAP\\_genera\\_tecnolog%C3%ADas\\_de\\_conservaci%C3%B3n](http://agronegocioecuador.ning.com/notes/Erosi%C3%B3n_del_suelo_avanza_en_el_pa%C3%ADs_INIAP_genera_tecnolog%C3%ADas_de_conservaci%C3%B3n)
- Instituto Nacional de Bosques. (2003). *Metodología para la determinación de áreas críticas de recarga hídrica natural*. Guatemala: INAB.
- Klohn, W., & Appelgren, B. (1999). Agua y agricultura. *CIDOB AFERS INTERNACIONALS*, 126.
- Little, C., Lara, A., McPhee, P., & Urrutia, R. (valdivia). Revealing the impact of forest exotic plantations on water yield in large scale watersheds in South Central Chile. *Journal hidroligy*.
- Londoño Arango, C. H. (2001). *Cuencas hidrográficas: Bases conceptuales- caracterización- planificación-administración*. Tolima: Universidad de Tolima.
- Medina, G., & Mena, D. (2001). *Los páramos en el Ecuador*. Quito: Abya Yala.
- Mena Vásconez, P., & Hofstede, R. (2006). Los páramos ecuatorianos. *EcoCiencia*, 109.
- Mendoza, M., Bocco, G., López Granados, E., & Bravo, M. (2002). Implicaciones hidrológicas del cambio de la cobertura vegetal y uso del suelo: una propuesta de análisis espacial a nivel regional en la cuenca cerrada del lago de Cuitzeo, Michoacán. *Scielo*, 49.
- Meza Ochoa, V. E. (2012). Suelos parcialmente saturados, de la investigación a la cátedra universitaria. *Scielo*, 16 - 28.
- Ministerio de Ambiente del Ecuador. (2012). *Sistema de clasificación de los Ecosistemas del Ecuador Continental*. Quito: Subsecretaría de Patrimonio Natural.

- Ministerio del Ambiente. (2014). *Plan Nacional de Restauración Forestal 2014-2017*. Quito: MAE.
- Ministerio del Ambiente. (2013). *Cuencas hidrográficas hacia un desarrollo sostenible*. Quito: MAE.
- Mintengui Aguirre, J. A., & Robredo Sánchez, J. C. (1994). Caracterización de las cuencas hidrográficas, objeto de restauración hidrológico- forestal, mediante modelos hidrológicos. *Universidad Politécnica de Madrid*, 82.
- Musy, A. (15 de Febrero de 2005). *Cours "Hydrologie générale"*. Obtenido de Laboratoire d'Hydrologie et : <http://translate.google.com.ec/translate?hl=es&sl=fr&u=http://echo2.epfl.ch/e-drologie/&prev=search>
- Odum, E. P., & Barrett, G. W. (2006). *Fundamentos de Ecología*. sn: Thomson S.A.
- Odum, E., & barrett, G. w. (2006). *Fundamentos de Ecología*. Estados Unidos: Thomson.
- OMS. (2006). Guías para la calidad de agua potable.
- Ordoñez Gálvez, Z. I. (2011). *Balance Hídrico Superficial*. Lima: Biblioteca Nacional del Perú.
- Ospina, A. (2006). *Agroforestería aportes conceptuales, metodológicos y practicos para el estudio agroforestal*. Santiago de Cali: Asociación de colectivo de agroecología del suroccidente colombiano.
- Owen, O. (2000). *Conservacion de Recursos Naturales*. Distrito Federal: pax Mexico.
- Oyarzún, C. E., & Humber, A. (1999). BALANCE HIDRICO EN PLANTACIONES JOVENES DE EUCALYPTUS GLOBULUS Y PINUS RADIATA EN EL SUR DE CHILE. *instituto de Grociencias Universidad Austral de Chile*, 35-44.
- Pariante Málaga, C. G. (abril de 2014). *Piurhua*. Obtenido de Repositorio Digital: <http://pirhua.udep.edu.pe/discover>
- Patiño, J. F., León Peláez, J. D., Montes, A., & Hernández, L. C. (2007). Nota técnica propuesta metodológica para comparar el efecto de diferentes coberturas vegetales en la regulación de caudales en cuencas hidrográficas. Aplicación en la microcuenca de la quebrada la murciélago, Antioquia. *Avances en recurso hidráulicos*, 20.
- Paucar Buñay, M. G. (12 de Septiembre de 2011). *Repositorio ESPOCH*. Obtenido de Composición y Estructura de un Bosque Montano, sector Licto, cantón Patate, provincia de Tungurahua: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/781>
- Pérard, S. (2011). *Cuantificación de la precipitación horizontal en el bosque latifoliado maduro del Cerro Uyuca*. Tegucigalpa: Universidad de Zamorano.
- Philippis, A. d. (1 960). Ecología y Fitoclimatología Forestales. *UNASYLVA*, 60.

- Pladeyra. (2003). *Paisaje s hísricos y balance hídrico de la cuenca Lema Chapala*. Mexico.
- Prefectura de Los Ríos. (07 de mayo de 2014). *Prefectura Los Ríos*. Obtenido de Prefectura reforesta cuencas hidrográficas en la provincia: [http://www.los-rios.gob.ec/index.php?option=com\\_content&view=article&id=1133:1-42-14ab&catid=1:ultimasnoticias](http://www.los-rios.gob.ec/index.php?option=com_content&view=article&id=1133:1-42-14ab&catid=1:ultimasnoticias)
- Red de ecología social. (30 de Octubre de 2014). *REDES*. Obtenido de Distribución del agua en el mundo: <http://www.redes.org.uy/download/consumo-responsable/Distribucion%20del%20agua%20en%20el%20mundo.pdf>
- Rodriguez Barrientos, F. (2006). Cuencas Hidrográficas, Descentralización y Desarrollo Regional Participativo. *InterSedes*, 12.
- Rojas , E. (18 de marzo de 2011). *Los Bosques son indispensables para un suministro de agua de calidad*. Obtenido de Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura: <http://www.fao.org/news/story/es/item/53463/icode/>
- Saldanha, S. (26 de Septiembre de 2012). *Departamento de producción animal y pasturas*. Obtenido de Curso: Pasturas Naturales: <http://prodanimal.fagro.edu.uy/cursos/PASTURAS%20CRS/26%20-%20Pasturas%20Naturales.pdf>
- Samani, Z. (2000). *Estimating Solar Radiation and Evapotranspiration Using Minimum*. New Mexico: Journal of Irrigation and Drainage Engineering, Vol. 126, No.4.
- Sanchez, J. (04 de mayo de 2008). Obtenido de Cálculo de la Evapotranspiración Potencial mediante la fórmula de Hargreaves: [http://hidrologia.usal.es/practicas/ET/ET\\_Hargreaves.pdf](http://hidrologia.usal.es/practicas/ET/ET_Hargreaves.pdf)
- Sánchez, S. J. (2001). *El agua en el suelo*. Obtenido de [www.Web.usual.es/~javisan/hidro/temas/T040](http://www.Web.usual.es/~javisan/hidro/temas/T040)
- Secretaria Nacional del Agua . (2009). *Delimitación y codificación de unidades hidrográficas del Ecuador*. Quito: SENAGUA; UICN; COMUNIDAD ANDINA.
- Secretaria Nacional del Agua. (2013). *Agua en el Ecuador*. Cuenca: Universidad Estatal de Cuenca.
- SENAGUA. (2012). *DIAGNÓSTICO DE LAS ESTADÍSTICAS DEL AGUA EN ECUADOR* . Quito : SENAGUA.
- Serrada, R. (2011). Restauración hidrológico-forestal. *Situación de los bosques: Retos y oportunidades* (pág. 93). Santander: Sociedad Española de Ciencias Forestales.
- Sheng, T. C. (1992). *Manual de campo para la ordenación de cuencas hidrográficas: estudio y planificación de cuencas hidrográficas*. Italia: FAO.

- Sierra Posada, J. (2005). *Fundamentos para el establecimiento de pasturas y cultivos forrajeros*.
- Sociedad Geográfica de Lima. (2011). *Ciclo hidrológico*. Lima: Biblioteca Nacional del Perú.
- Stadtmüller, T. (1987). *Los Bosques Nublados en el Trópico Humedo*. Turrialba: Universidad de las Naciones Unidas y Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza.
- Thornthwaite, C. (1948). *Evapotranspiración*.
- Tituaña, F. W. (07 de Enero de 2011). *Repositorio Digital UTN*. Obtenido de MANEJO DE LA MICROCUENCA;QUEBRADA SAN ANTONIO DE IBARRA;RECURSOS HIDRICOS;PROVINCIA DE IMBABURA: <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/220>
- Tixilima, A. N. (12 de Mayo de 2015). *Repositorio Digital UTN*. Obtenido de PLAN DE MANEJO DEL RECURSO HÍDRICO DE LA ACEQUIA ROSAS PAMBA, PARA FORTALECER EL PLAN DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL DE LA PARROQUIA LA ESPERANZA, PROVINCIA DE IMBABURA.: <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/4452>
- Tobón, C., & Gil Morales, E. (2007). Capacidad de interceptación de la niebla por la vegetación de los páramos andinos. *Univesidad Nacional de Colombia*, 46.
- UNESCO. (19 de Octubre de 2 014). *Aprendiendo a luchar contra la desertificación*. Obtenido de Recursos Hídricos: [http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:4\\_pK8fnZs6gJ:www.unesco.org/mab/doc/ekocd/spanish/chapter7.html+&cd=6&hl=es&ct=clnk&gl=ec](http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:4_pK8fnZs6gJ:www.unesco.org/mab/doc/ekocd/spanish/chapter7.html+&cd=6&hl=es&ct=clnk&gl=ec)
- Universid Nacional de Colombia. (29 de abril de 2013). *Agencia de noticias UN*. Obtenido de No siempre sembrar más árboles significa tener más agua: <http://www.agenciadenoticias.unal.edu.co/ndetalle/article/no-siempre-sembrar-mas-arboles-significa-tener-mas-agua.html>
- Valarezo, J. (2006). Taller de capacitación en agroforestería. *agroforestería* (pág. 30). Loja: COSV.UNL.
- Vargas Luna, A. (2005). *Características fisiográficas o morfométricas de las cuencas hidrográficas*. Tolima: Universidad de Tolima.
- Velásquez, D. (2010). La función de la biodiversidad para la existencia de agua en el ecosistema y en el agroecosistema: Pautas para políticas. *Agri-Cultores*, 26.
- Vera, C., & Camilloni, I. (sn de sn de 2011). *Biblioteca Nacional del Maestro*. Obtenido de El ciclo del agua: <http://www.bnm.me.gov.ar/giga1/documentos/EL002315.pdf>
- VILLON VEJAR, M. (2002). *Hidrología*. Lima -Perú: Villón.

Wilcox, B. P. (2002). *Shrub control and streamflow on rangelands: A process based viewpoint*. Miami: Journal of Rangeland Management.

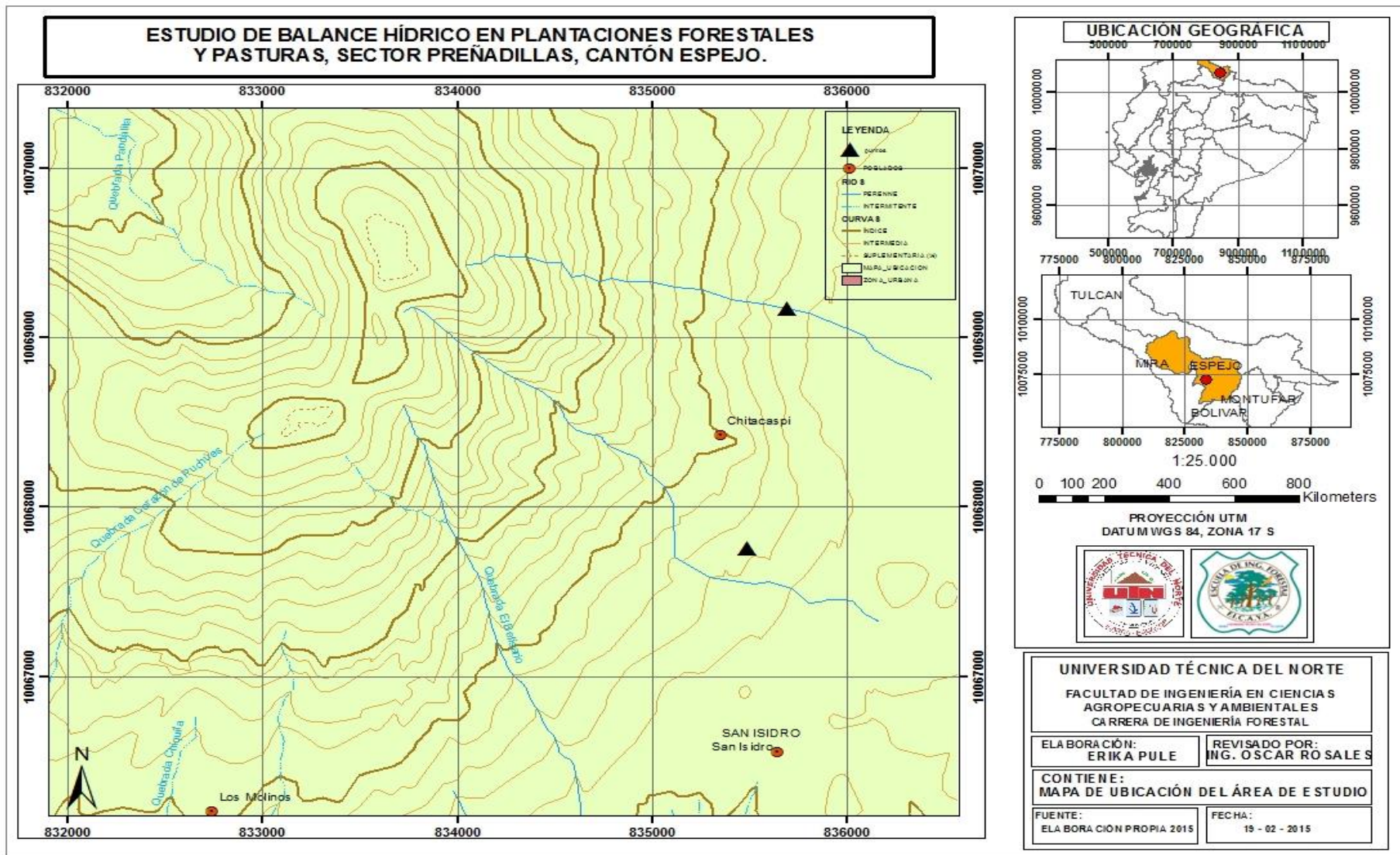


## GLOSARIO DE TÉRMINOS

<b>CNRH:</b>	Concejo Nacional de Recursos Hídricos
<b>CONICERT:</b>	Concejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas
<b>FAO:</b>	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura
<b>MAE:</b>	Ministerio del Ambiente
<b>CARE:</b>	Organización internacional privada para el desarrollo
<b>FORGAES:</b>	Fortalecimiento de la Gestión Ambiental
<b>INAMHI:</b>	Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología
<b>PERCOLACIÓN:</b>	Procesos de filtración del agua a las capas profundas de un terreno.
<b>HELIOFANÍA:</b>	Presenta la duración del brillo solar u horas del sol.
<b>GPS:</b>	Sistema de Posicionamiento Global.
<b>PNUD:</b>	Programas de Naciones Unidas para el Desarrollo.
<b>UNESCO:</b>	Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura.
<b>UICN:</b>	Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza
<b>WATERMARK:</b>	Sensor de humedad del suelo.
<b>MORFOMETRÍA:</b>	Conjunto de técnicas, procedimientos y métodos para determinar las formas del terreno.
<b>ELECTROMÉTRICO:</b>	Parte de la física que sirve para estudiar el modo de medir la intensidad eléctrica.
<b>NEFELOMÉTRICO:</b>	Unidad utilizada para medir la turbidez de un fluido.
<b>CONDUCTIVIMETRO:</b>	Dispositivo diseñado para medir una característica de todos los materiales que es la conductividad.
<b>POTATEST:</b>	Prueba de laboratorio avanzada de calidad microbiológica del agua.

## **ANEXOS**

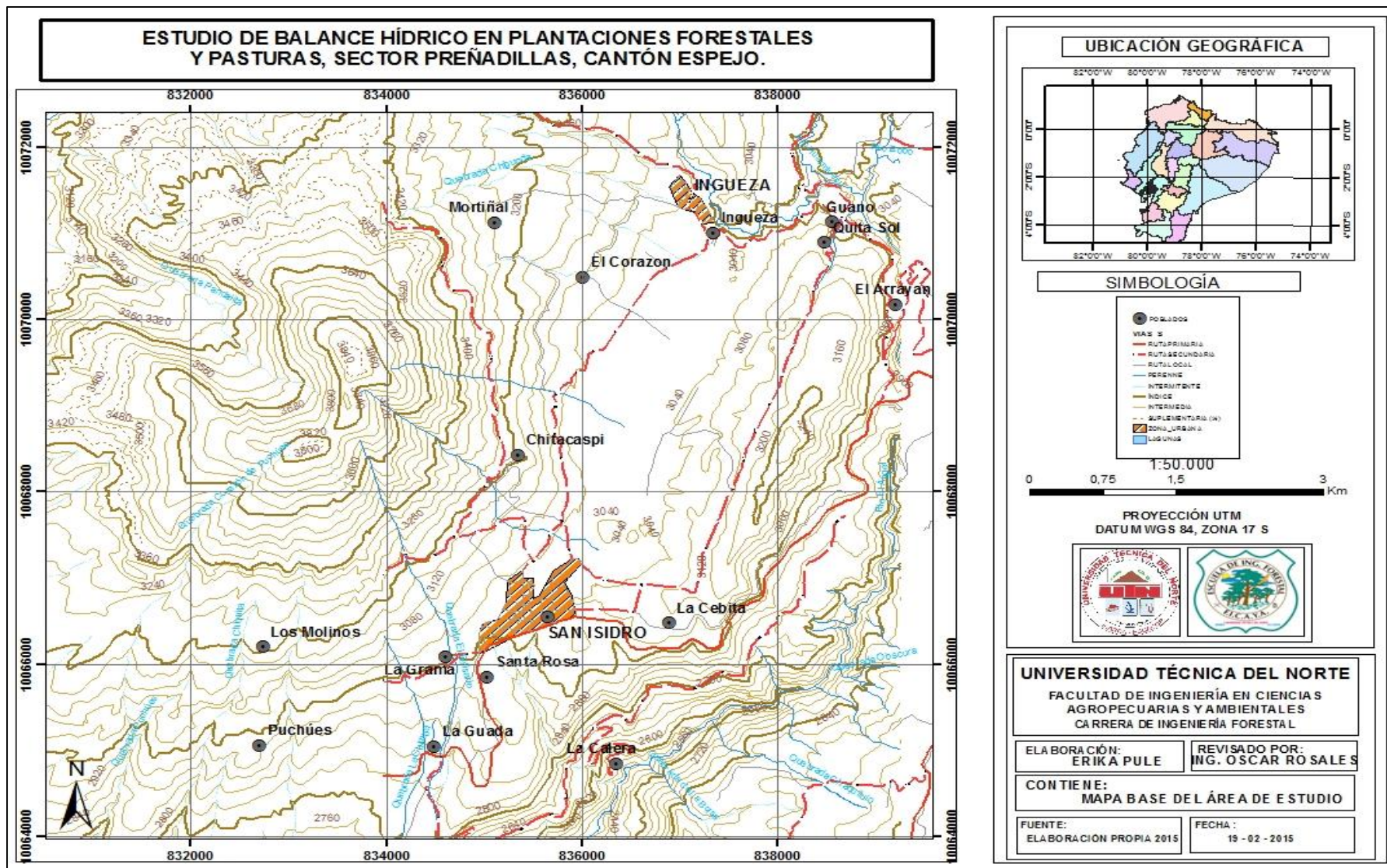
### **9.1 ANEXOS DE MAPAS TEMÁTICOS**



*Figura 2. Ubicación del área de estudio*

Elaborado por: Erika Magaly Pule Mejía.

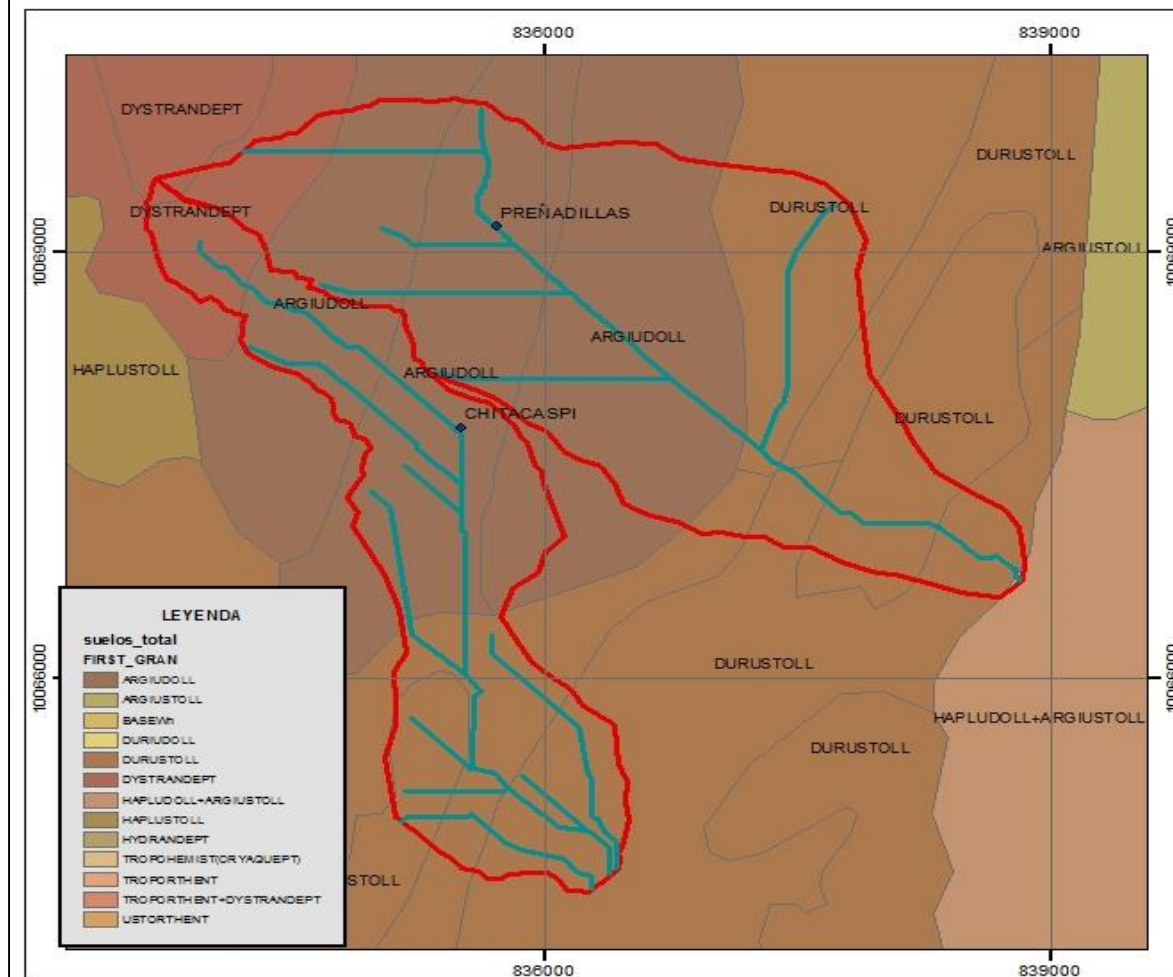




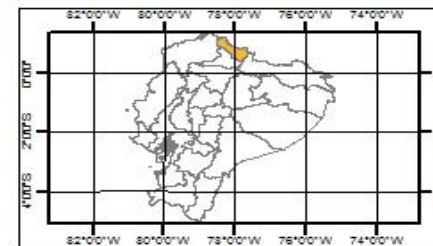
*Figura 3. Mapa base*

Elaborado por: Erika Magaly Pule Mejía.

**ESTUDIO DE BALANCE HÍDRICO EN PLANTACIONES FORESTALES Y PASTURAS, SECTOR PREÑADILLAS, CANTÓN ESPEJO.**



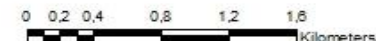
**UBICACIÓN GEOGRÁFICA**



**SIMBOLOGIA**

- puntos
- RIOS
- MICROCUENCA

1:40.000



PROYECCIÓN UTM  
DATUM WGS 84, ZONA 17 S



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS  
AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES  
CARRERA DE INGENIERÍA FORESTAL

ELABORACIÓN: **ERIKA PULE** REVISADO POR: **ING. OSCAR ROSALES**

CONTIENE:  
**MAPA GEOLÓGICO**

FUENTE:  
ELABORACIÓN PROPIA 2015

FECHA:  
19 - 02 - 2015

*Figura 4. Mapa geológico*

Elaborado por: Erika Magaly Pule Mejía.





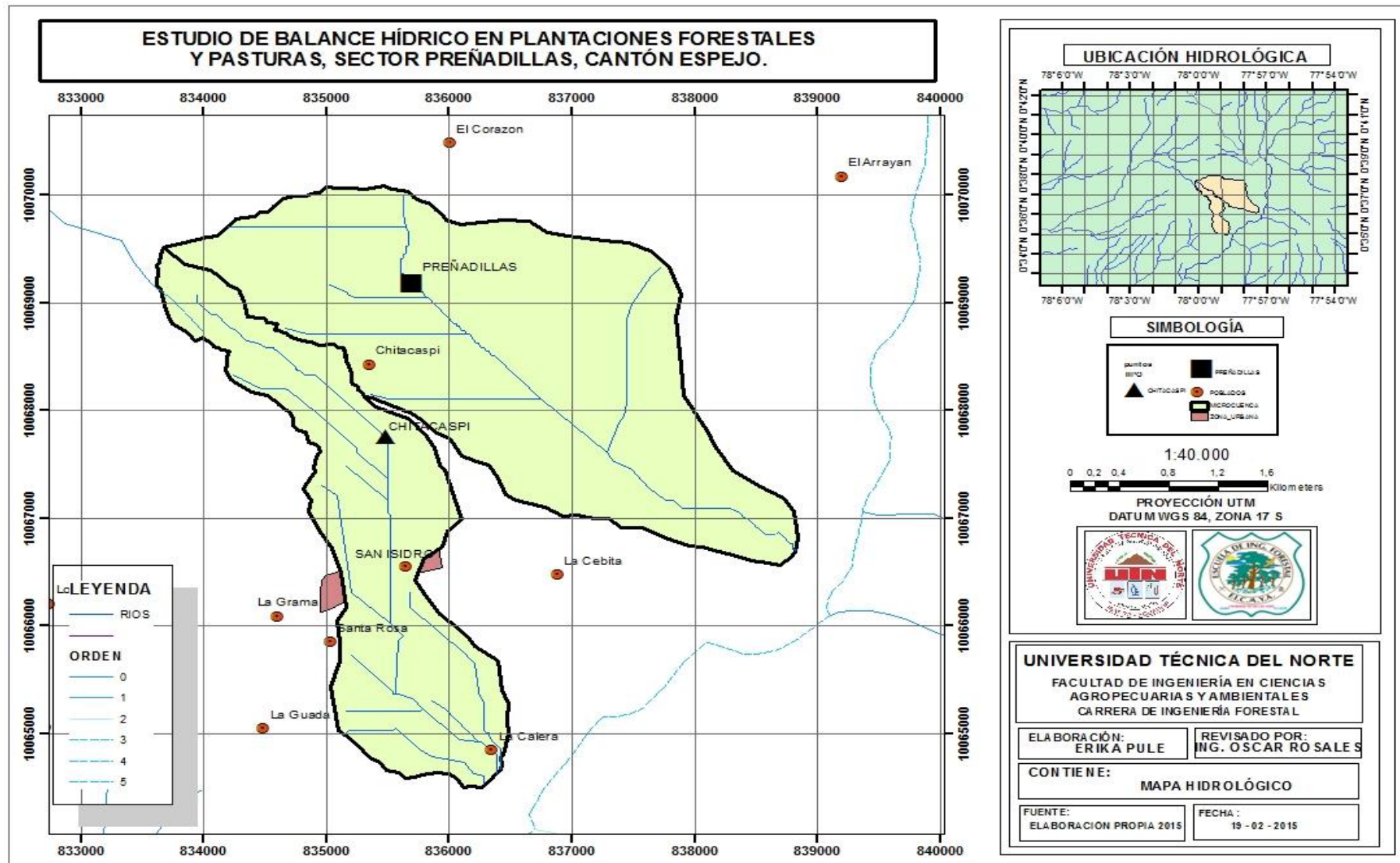
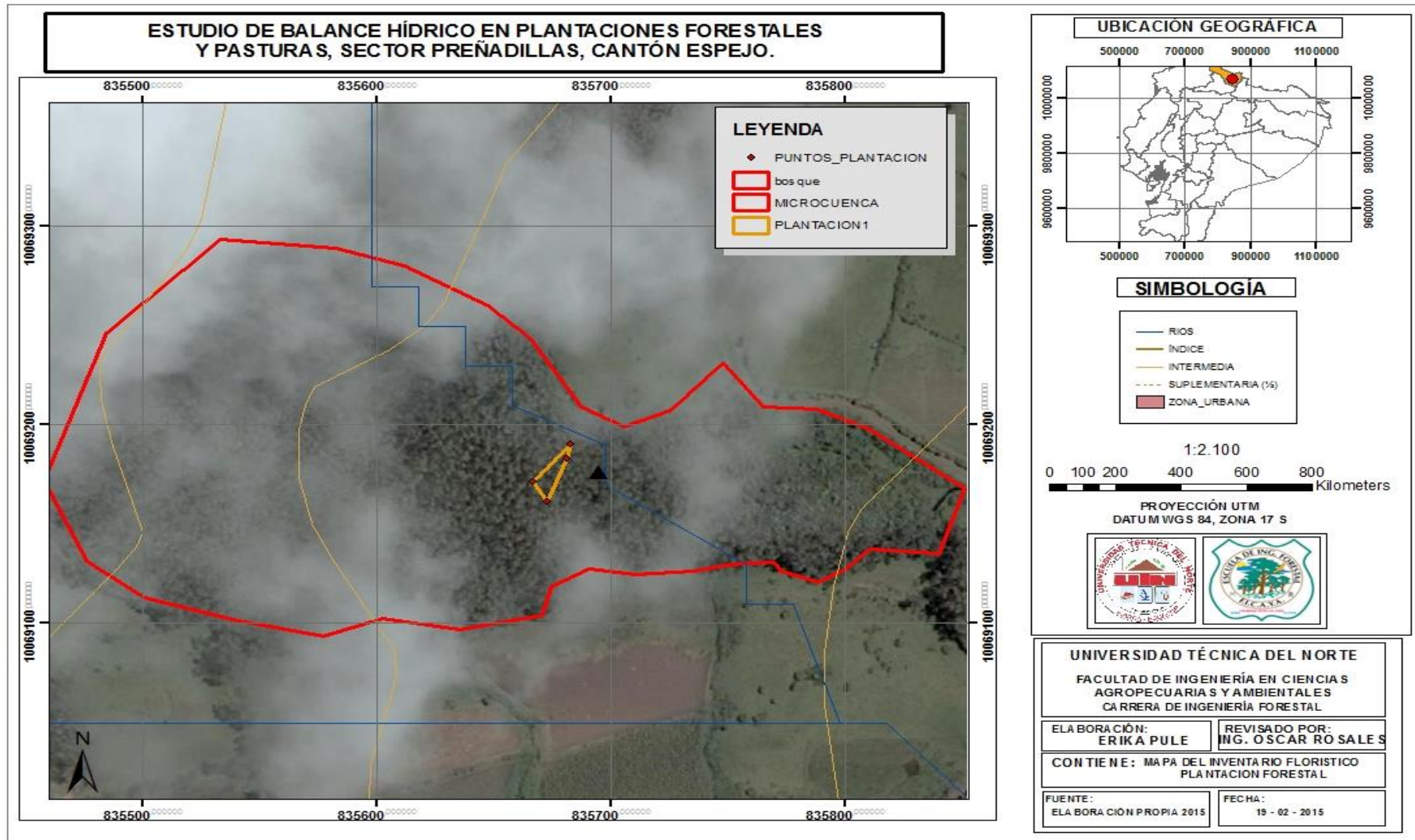


Figura 6. Mapa hidrológico

Elaborado por: Erika Magaly Pule Mejía.

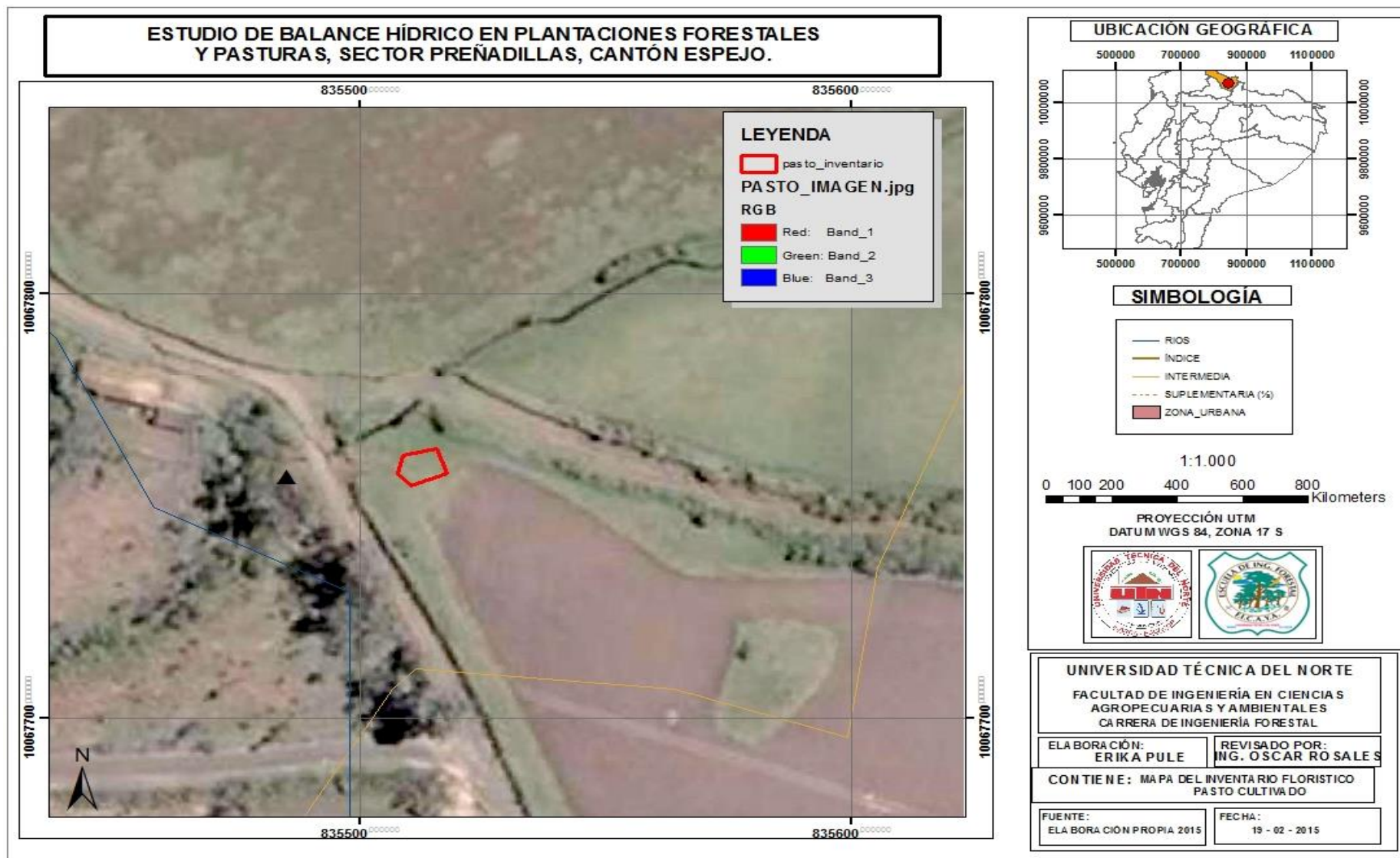




*Figura 7. Mapa de inventario florístico – plantación forestal*

Elaborado por: Erika Magaly Pule Mejía.





*Figura 8. Mapa de inventario florístico –pasto*

Elaborado por: Erika Magaly Pule Mejía.

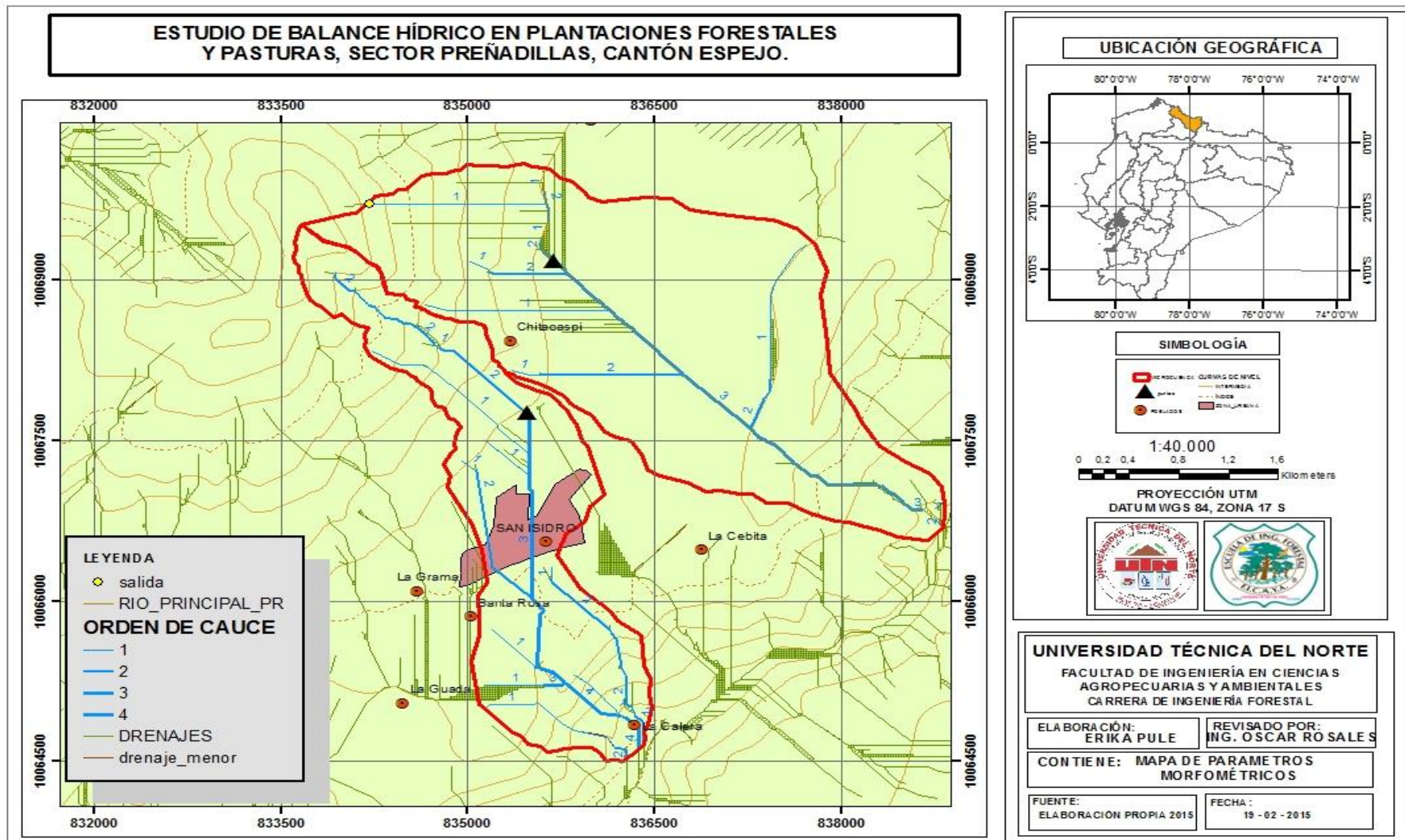
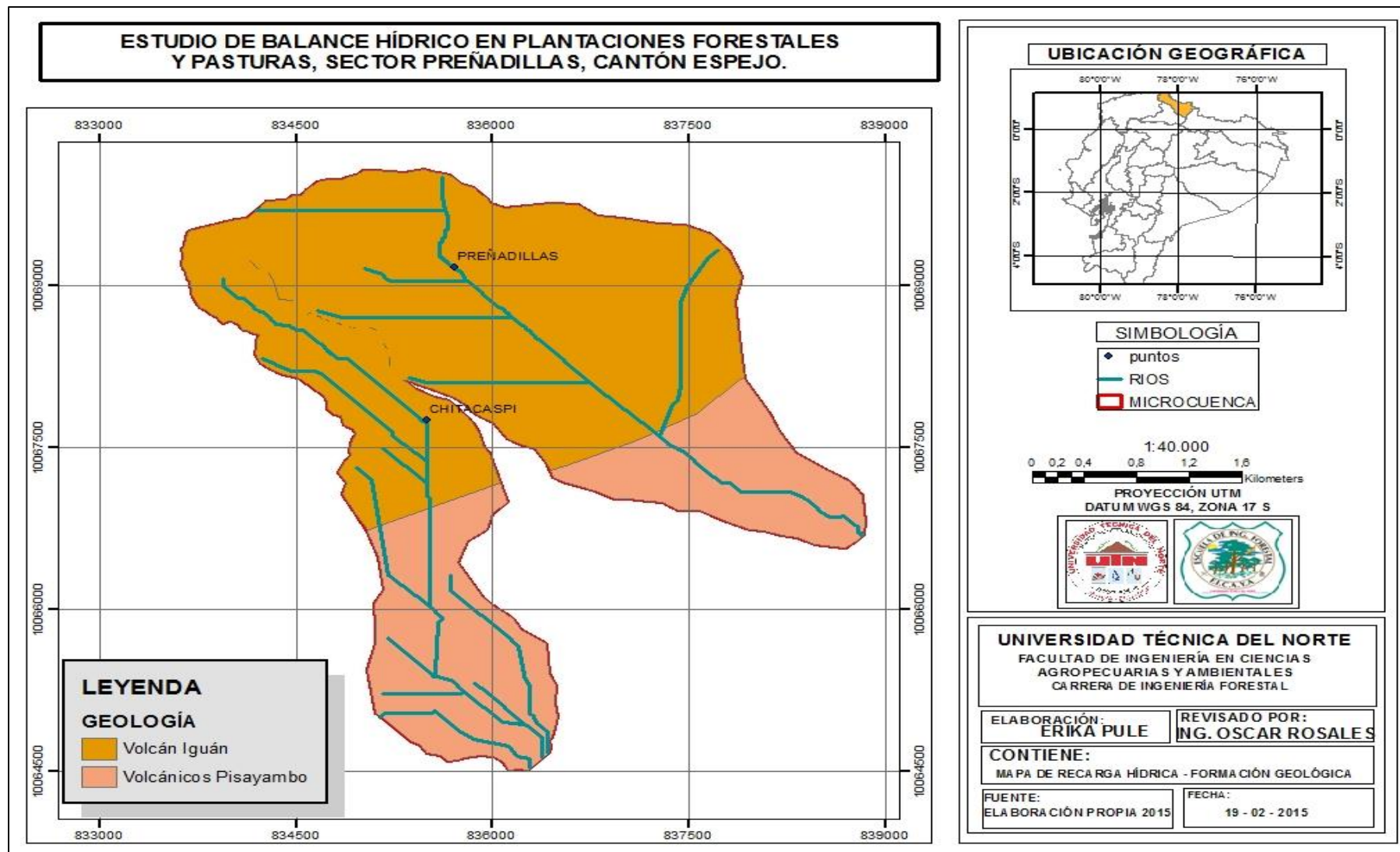


Figura 9. Mapa de parámetros morfométricos

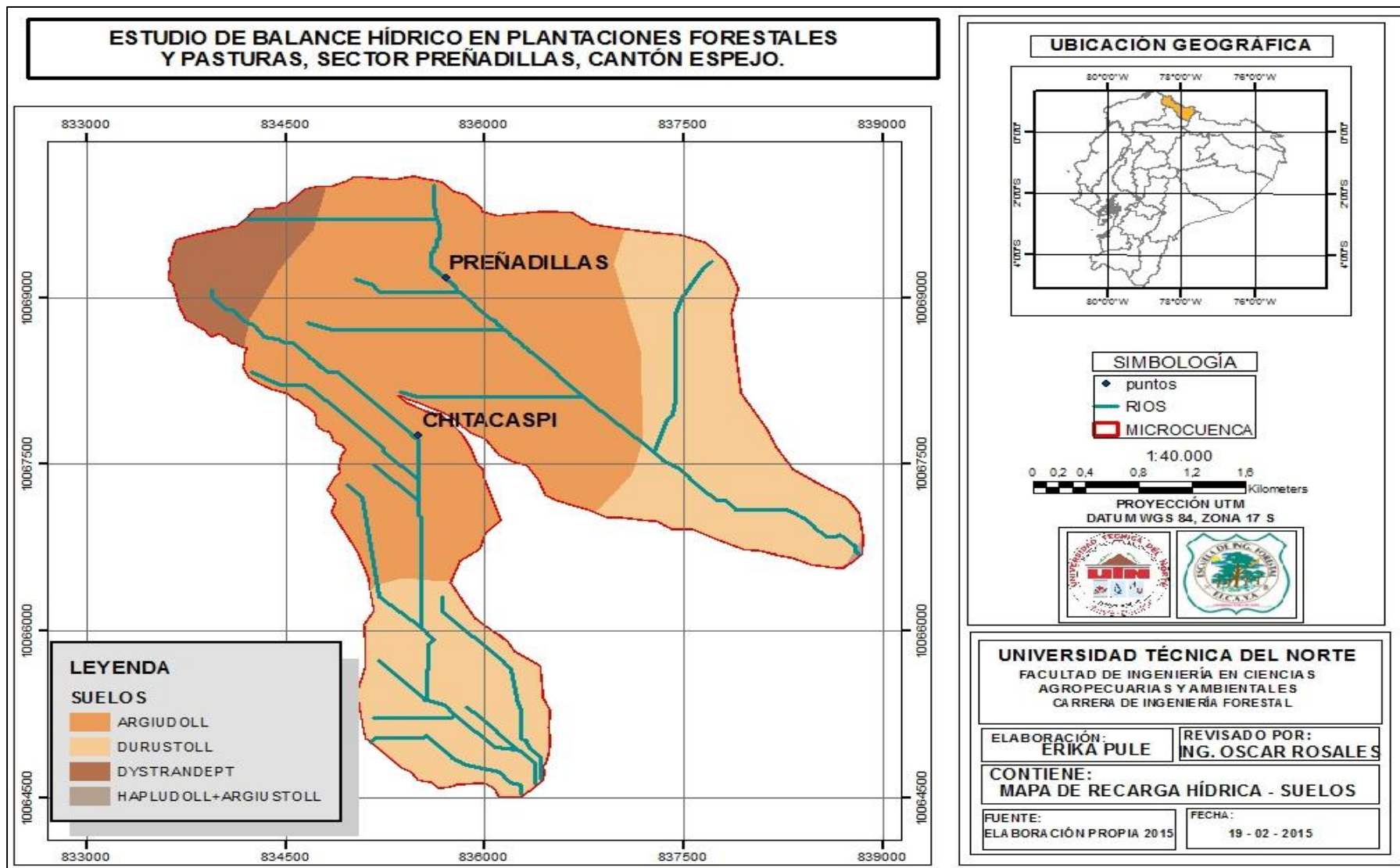
Elaborado por: Erika Magaly Pule Mejía.





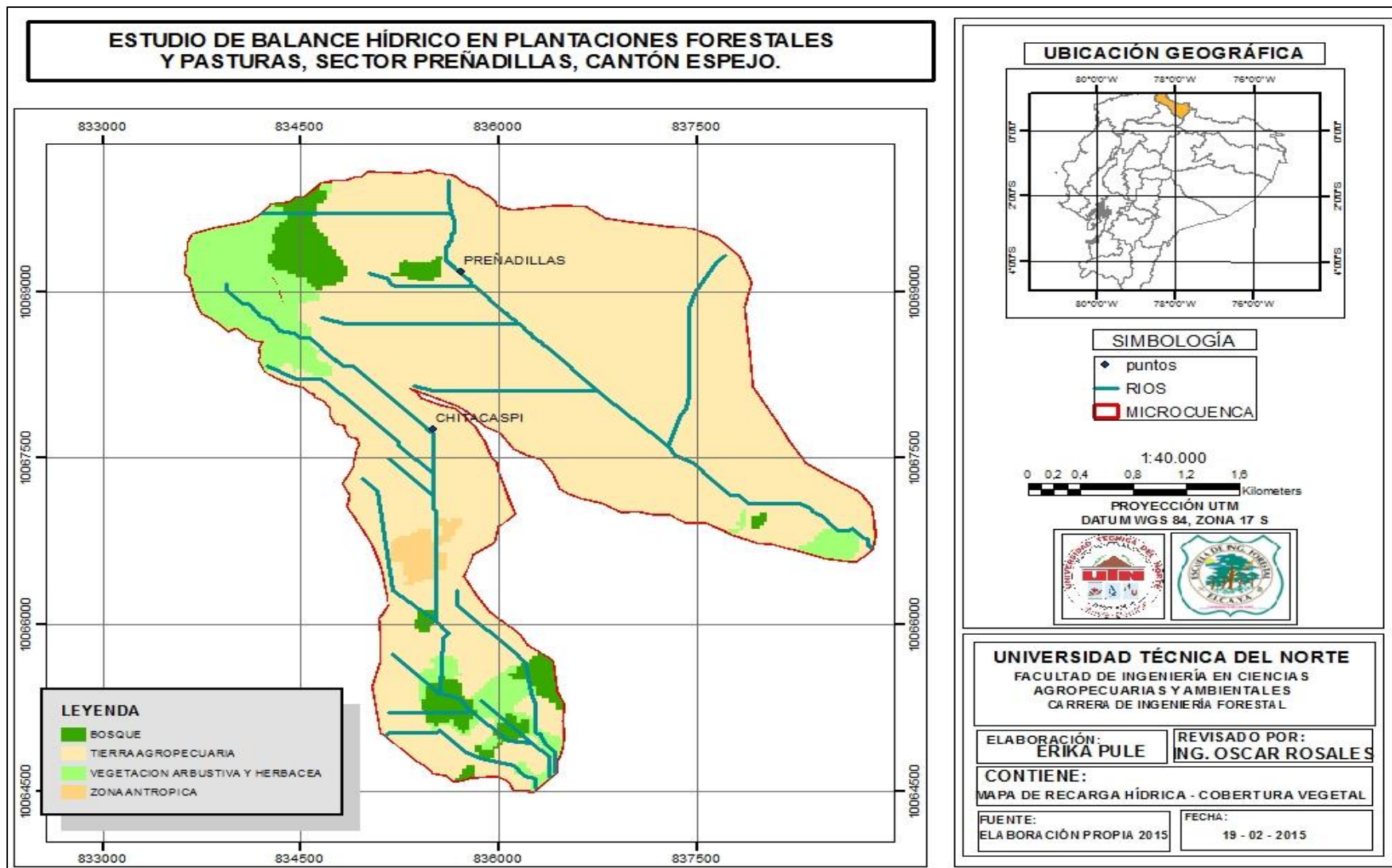
*Figura 10. Mapa recarga hídrica – formación geológica*

Elaborado por: Erika Magaly Pule Mejía.



*Figura 11. Recarga hídrica - suelos*

Elaborado por: Erika Magaly Pule Mejía.



*Figura 12. Recarga hídrica- cobertura vegetal*

Elaborado por: Erika Magaly Pule Mejía.



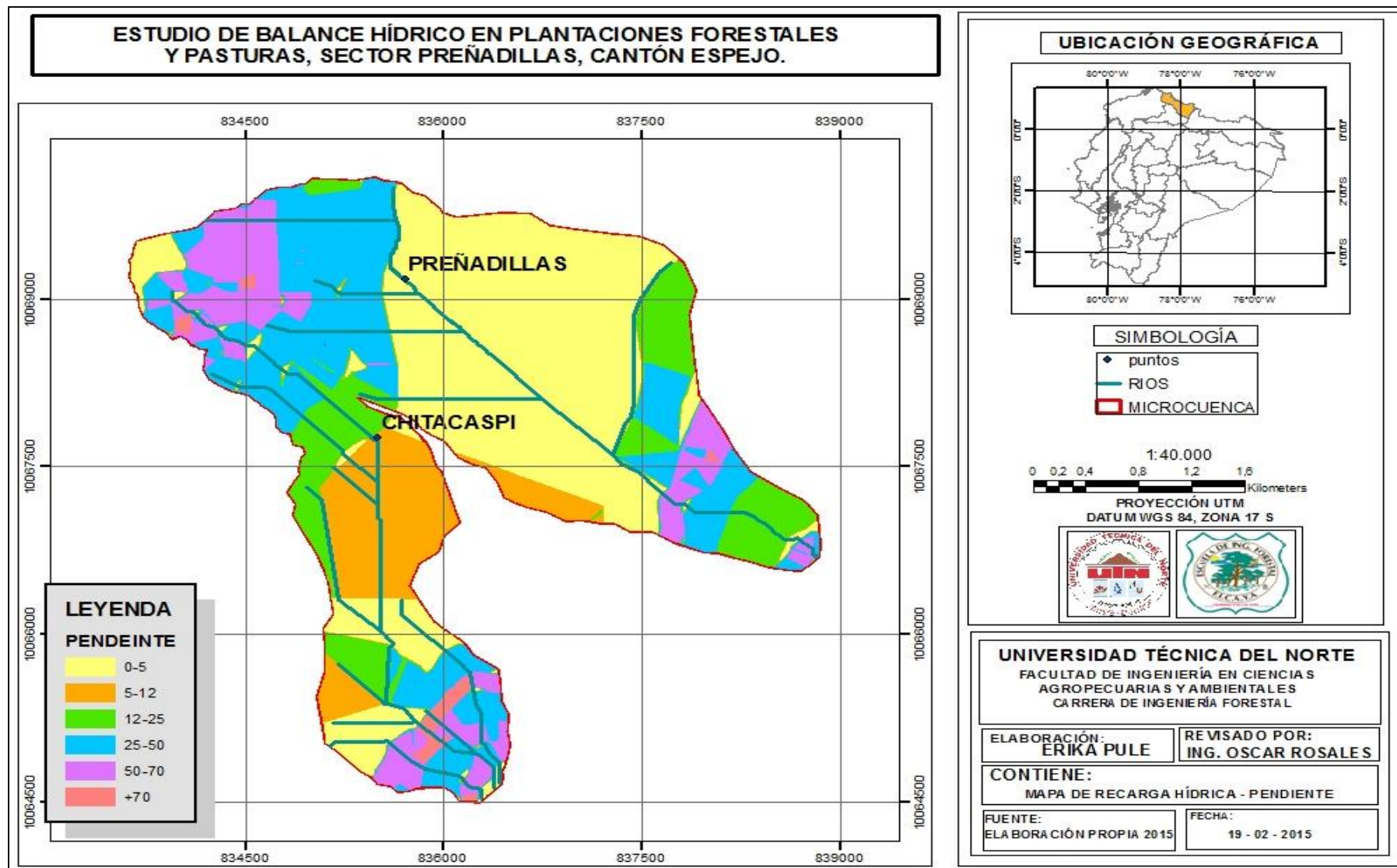


Figura 13. Recarga hídrica- pendiente

Elaborado por: Erika Magaly Pule Mejía.

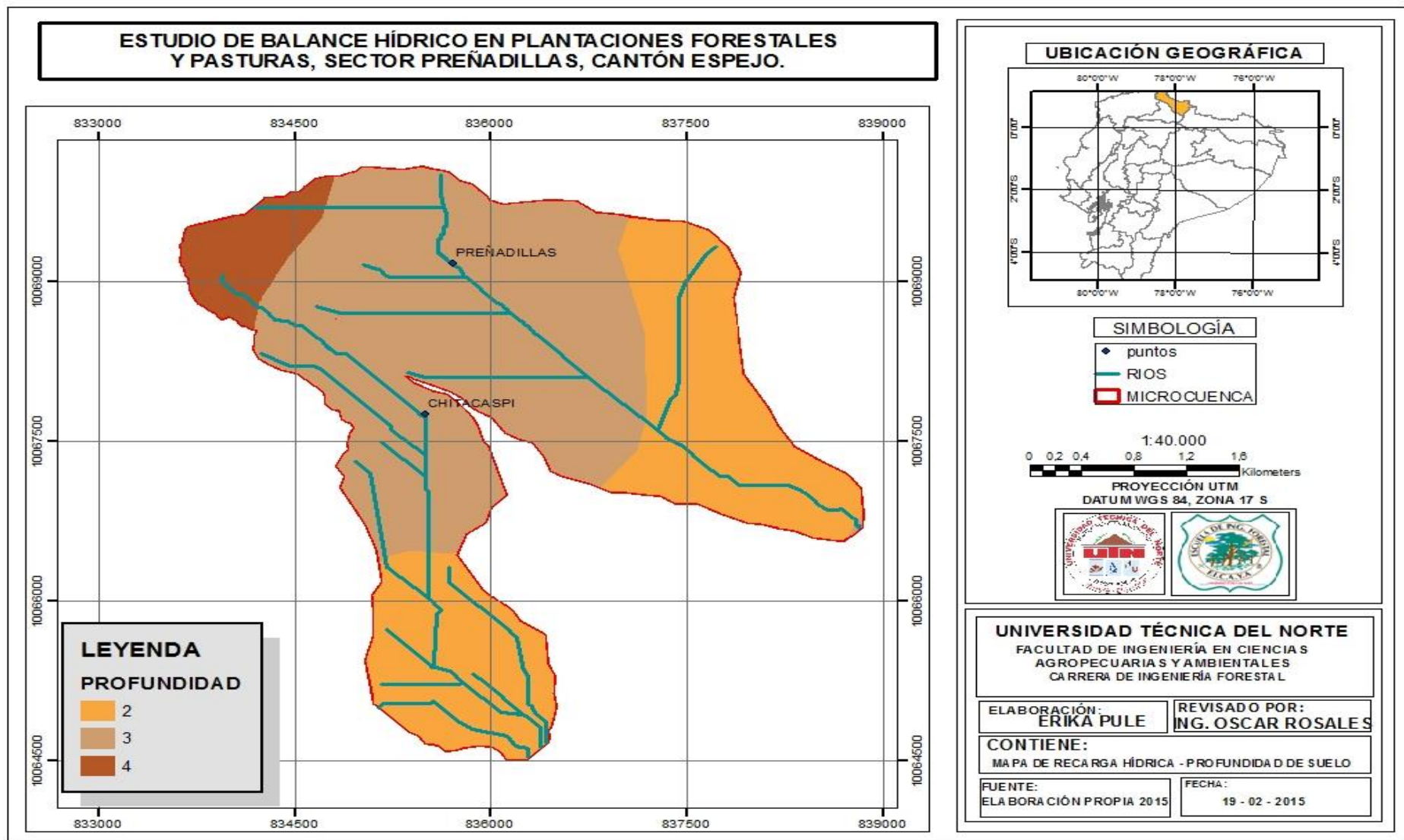
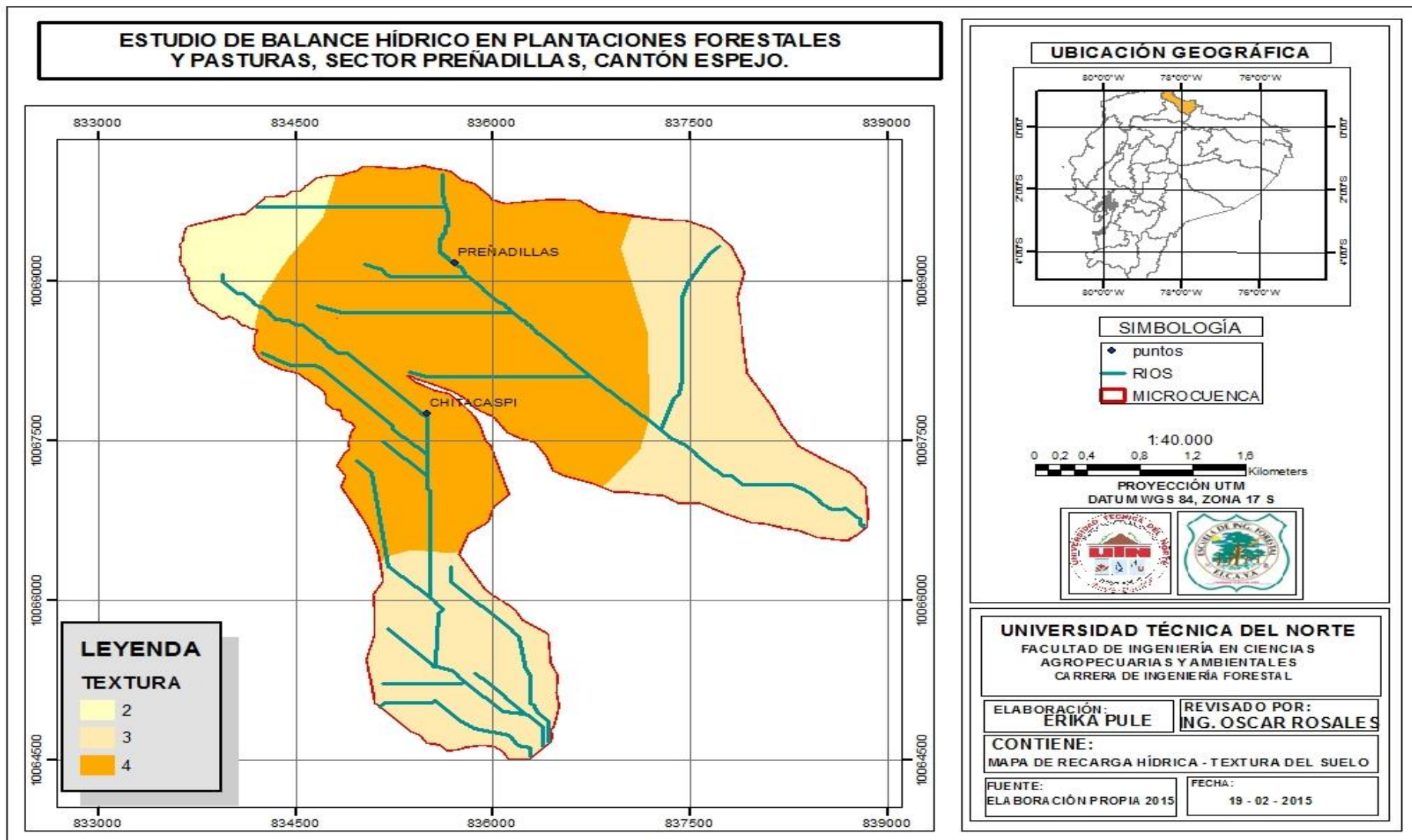


Figura 14. Recarga hídrica - profundidad del suelo

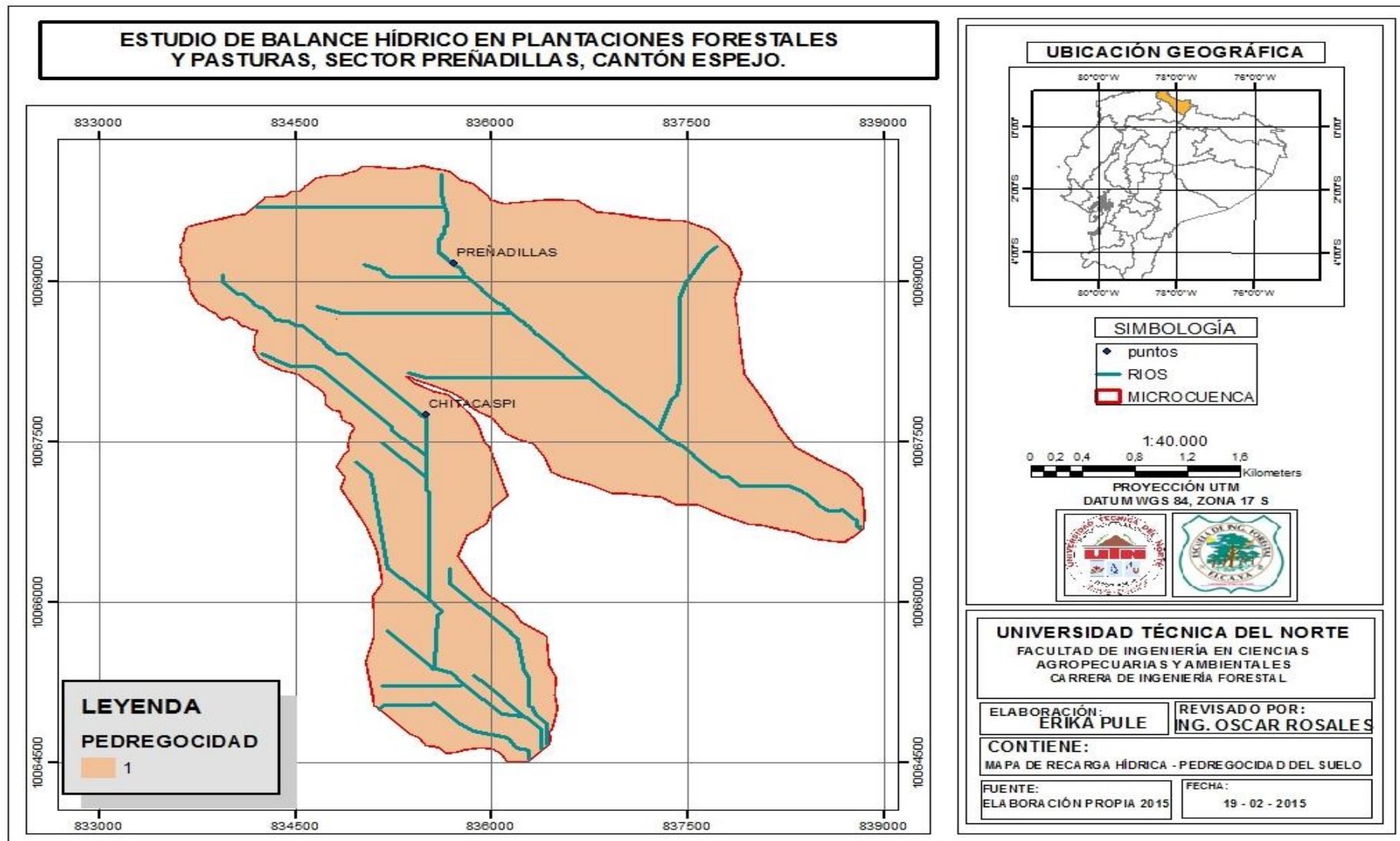
Elaborado por: Erika Magaly Pule Mejía.



*Figura 15. Recarga hídrica - textura del suelo*

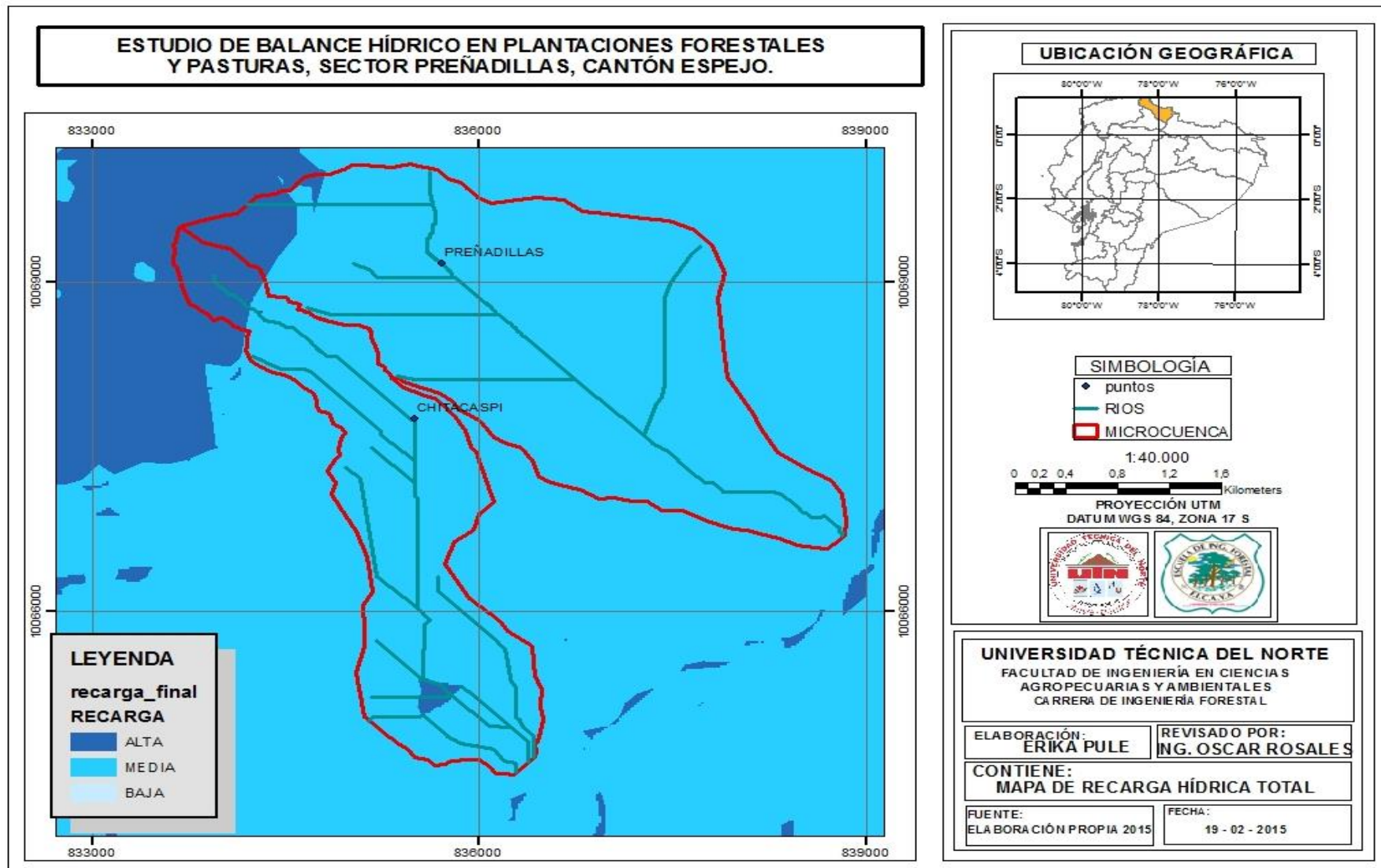
Elaborado por: Erika Magaly Pule Mejía.





*Figura 16. Recarga hídrica - pedregosidad*

Elaborado por: Erika Magaly Pule Mejía.



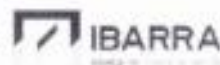
*Figura 17. Recarga hídrica total*

Elaborado por: Erika Magaly Pule Mejía.

## 9.2 ANEXOS RESULTADOS DE ANALISIS DE AGUA – SUELO



MINISTERIO PÚBLICO MUNICIPAL DE AGUA POTABLE  
VALLE DEL ROSARIO DE IBARRA



### LABORATORIO EMAPA - I

SRTA: ERIKA PUJE

Nombre Muestra: M1  
Fecha: 10 de febrero del 2016  
Conservación: Ninguna

Parámetros	Unidades	Límite máximo permisible NTC INEN 1108	M1 10/02/2016	Técnica Usada
<b>Análisis Físicos</b>				
1 Color	UTC	15	0	PEE-EMAPA-I-001 (SM 2120B)
2 pH	-	* 6,5-8,5	6,50	PEE-EMAPA-I-002 (SM 4500-H B)
3 Turbiedad	NTU	5	0,13	PEE-EMAPA-I-003 (SM 2130B)
4 Conductividad	uS/cm	-	193,30	PEE-EMAPA-I-004 (SM 2510B)
5 Sólidos disueltos totales	mg/l	*1000	100,00	PEE-EMAPA-I-005(SM 2510A)
<b>Análisis Químicos</b>				
6 Nitros. NO <sub>3</sub>	mg/l	*3,0	1,200	PEE-EMAPA-I-006 (SM 4500 NO <sub>3</sub> )
7 Dureza Total (CaCO <sub>3</sub> )	mg/l	*500	178,21	PEE-EMAPA-I-007 (SM)
8 Magnesio (Mg)	mg/l	*30	28,01	PEE-EMAPA-I-008 (SM 3500-Mg B)
9 Calcio (Ca)	mg/l	*70	25,74	PEE-EMAPA-I-009 (SM 3500-Ca B)
10 Alcalinidad Total	mg/l	-	112,00	PEE-EMAPA-I-010 (SM 2320C)
11 Sulfato SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	mg/l	-	56,00	PEE-EMAPA-I-011(SM 8051)
12 Hierro (Fe)	mg/l	* 0,3	0,02	PEE-EMAPA-I-012 (M HACH 8008)
<b>Microbiológicos</b>				
13 Coliformes totales	ufc/100ml	*0	0	PEE-EMAPA-I-013 (SM 9222B)(Filtración por membrana)
14 E. Coli	ufc/100ml	<1	0	PEE-EMAPA-I-014 (SM 9222D) (Filtración por membrana)
15 Cloro residual	mg/L	0,3-1,5	-	Método Colorimétrico (DPD) 4500-Cl G

Observación

La muestra se encuentra dentro de los límites permisibles en los parámetros analizados. Por lo tanto cumple la NORMA INEN 1108.

  
Bq. Carla Valarezo  
CONTROL DE CALIDAD



## LABORATORIO EMAPA - I

SRTA: ERIKA PULE

Nombre Muestra: M2  
 Fecha: 10 de febrero del 2016  
 Conservación: Ninguna

Parámetros	Unidades	Límite máximo permisible NTC INEN 1108	M2 10/02/2016	Técnica Usada
<b>Análisis Físicos</b>				
1 Color	UTC	15	0	PEE-EMAPA-I-001 (SM 2120B)
2 pH	-	* 6,5-8,5	7,00	PEE-EMAPA-I-002 (SM 4500-H B)
3 Turbiedad	NTU	5	0,11	PEE-EMAPA-I-003 (SM 2130B)
4 Conductividad	µS/cm	-	193,20	PEE-EMAPA-I-004 (SM 2510B)
5 Sólidos disueltos totales	mg/l	*1000	100,00	PEE-EMAPA-I-005(SM 2510A)
<b>Análisis Químicos</b>				
6 Nitratos (NO <sub>3</sub> )	mg/l	*3,0	5,6	PEE-EMAPA-I-006 (SM 4500 NO <sub>3</sub> )
7 Dureza Total (CaCO <sub>3</sub> )	mg/l	*300	91,08	PEE-EMAPA-I-007 (SM)
8 Magnesio (Mg)	mg/l	*30	6,76	PEE-EMAPA-I-008 (SM 3500-Mg B)
9 Calcio (Ca)	mg/l	*70	25,34	PEE-EMAPA-I-009 (SM 3500-Ca B)
10 Alcalinidad Total	mg/l	-	108	PEE-EMAPA-I-010 (SM 2320C)
11 Sulfatos SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	mg/l	-	48	PEE-EMAPA-I-011(SM 8051)
12 Hierro (Fe)	mg/l	* 0,3	0,01	PEE-EMAPA-I-012 (M. HACH 8008)
<b>Microbiológicos</b>				
13 Coliformes totales	ufc/100ml	*0	0	PEE-EMAPA-I-013 (SM 9222B)(Filtración por membrana)
14 E. Coli	ufc/100ml	<1	0	PEE-EMAPA-I-014 (SM 9222D) (Filtración por membrana)
15 Cloro residual	mg/L	0,3-1,5	-	Método Colorimétrico (DPD) 4500-Cl G

**Observación**

La muestra se encuentra dentro de los límites permisibles en los parámetros analizados. Por lo tanto cumple la NORMA INEN 1108.

Bq. Carla Velazco  
**CONTROL DE CALIDAD**



## LABORATORIO EMAPA - I

SRTA: ERIKA PULE

Nombre Muestra: M3  
 Fecha: 10 de febrero del 2016  
 Conservación: Ninguna

Parámetros	Unidades	Límite máximo permisible NTE INEN 1108	M3	10/02/2016	Técnica Usada
<b>Análisis Físicos</b>					
1 Color	UTC	15	0		PEE-EMAPA-I-001 (SM 2120B)
2 pH	-	* 6.5-8.5	6.78		PEE-EMAPA-I-002 (SM 4900-H B)
3 Turbiedad	NTU	5	0.10		PEE-EMAPA-I-003 (SM 2130B)
4 Conductividad	uS/cm	-	193.10		PEE-EMAPA-I-004 (SM 2510B)
5 Sólidos disueltos totales	mg/l	*1000	103.00		PEE-EMAPA-I-005 (SM 2510A)
<b>Análisis Químicos</b>					
6 Nitroto, NO <sub>3</sub>	mg/l	*3.0	1.1		PEE-EMAPA-I-006 (SM 4500 NO <sub>3</sub> )
7 Dureza Total (CaCO <sub>3</sub> )	mg/l	*300	95.04		PEE-EMAPA-I-007 (SM)
8 Magnesio (Mg)	mg/l	*30	9.65		PEE-EMAPA-I-008 (SM 3500-Mg B)
9 Calcio (Ca)	mg/l	*70	22.17		PEE-EMAPA-I-009 (SM 3500-Ca B)
10 Alcalinidad Total	mg/l	-	112		PEE-EMAPA-I-010 (SM 2320C)
11 Sulfatos SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	mg/l	-	31		PEE-EMAPA-I-011 (SM 8051)
12 Hierro (Fe)	mg/l	*0.3	0.00		PEE-EMAPA-I-012 (M. HACH 8008)
<b>Microbiológicas</b>					
13 Coliformes totales	ufc/100ml	*0	0		PEE-EMAPA-I-013 (SM 9222B) (Filtración por membrana)
14 E. Coli	ufc/100ml	<1	0		PEE-EMAPA-I-014 (SM 9222D) (Filtración por membrana)
15 Cloro residual	mg/L	0.3-1.5	-		PEE-EMAPA-I-015 (DPD 4500-Cl G)

Observación

La muestra se encuentra dentro de los límites permisibles en los parámetros analizados. Por lo tanto cumple la NORMA INEN 1108.

Bq. Carla Valarezo  
 CONTROL DE CALIDAD





PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR SEDE IBARRA  
LABORATORIO ESCUELA DE CIENCIAS AGRÍCOLAS Y AMBIENTALES

INFORMA DE RESULTADOS

**Datos:**

Solicitado por: Srta. Erika Pule  
Muestra de: Suelo  
Número de muestras: 06  
Fecha de recepción: 06-01-2016  
Fecha de análisis: 06-01-2016

**Descripción:**

Código de laboratorio: 080765  
Estado: sólido  
Fecha de entrega de resultados: 13-01-2016  
Observaciones: Los resultados corresponden únicamente a la muestra analizada en laboratorio

Muestreado por: Cliente

Análisis solicitado: Textura

**RESULTADOS:**

Lugar	Denominación	Tamiz	Peso [g]	TIPO		TIPO DE SUELO
Preñadillas	Muestra 1 P1	#40	38,519	Grava	52,5603	Arcillo Arenoso
		#60	14,0413	Arena		
	100,7818 [g]	#100	12,7605	Limo	12,7605	
		Final	33,7584	Arcilla	33,7584	
<hr/>						
Lugar	Denominación	Tamiz	Peso [g]	Tipo		TIPO DE SUELO
Preñadillas	Muestra 2 P2	#40	36,1785	Grava	48,733	Arcillo Arenoso
		#60	12,5545	Arena		
	100,7818 [g]	#100	12,1979	Limo	12,1979	
		Final	37,8014	Arcilla	37,8014	

# ANEXOS FOTOGRAFÍAS



*Fotografía 1. Instalación del ensayo watermark*



*Fotografía 2. Instalación del ensayo infiltrómetro.*



*Fotografía 3. Medición en campo watermark*



*Fotografía 4. Medición en campo pluviómetro.*



*Fotografía 5. Clasificación de horizontes del suelo.*



*Fotografía 6. Recolección de suelo.*





*Fotografía 7. Recolección de muestras de agua.*



*Fotografía 8. Análisis de agua.*



*Fotografía 9. Inspección del ensayo Chitacspi*



*Fotografía 9. Inspección del ensayo Preñadillas.*