



# **UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**

**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y  
AMBIENTALES**

**CARRERA DE INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES  
RENOVABLES**

**“IDENTIFICACIÓN DE LOS SERVICIOS ECOSISTÉMICOS HÍDRICOS DE  
CONSUMO HUMANO EN LA MICROCUENCA DEL RÍO IRUBÍ, MEDIANTE EL  
MODELO SWAT Y PROPUESTA DE MANEJO DEL RECURSO”**

**TRABAJO DE GRADO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE  
INGENIERA EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES**

**AUTORA:**

**Pantoja Imbaquingo Eliana Rebeca**

**DIRECTOR:**

**Ing. Oscar Rosales**

**Ibarra – Ecuador**

**2016**



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES  
CARRERA DE INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES

**TÍTULO**

**“IDENTIFICACIÓN DE LOS SERVICIOS ECOSISTÉMICOS HÍDRICOS DE  
CONSUMO HUMANO EN LA MICROCUENCA DEL RÍO IRUBÍ, MEDIANTE EL  
MODELO SWAT Y PROPUESTA DE MANEJO DEL RECURSO”**

Trabajo de grado revisado por el Comité Asesor, por lo cual se autoriza su presentación  
como requisito parcial para obtener el Título de:

INGENIERA EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES

**APROBADO:**

Ing. Oscar Rosales, M.Sc.

**Director**

Ing. Lourdes Yepez, M.Sc.

**Asesora**

Ing. Tania Oña, M.Sc.

**Asesora**

Biol. Renato Oquendo, Msc

**Asesor**

**Ibarra – Ecuador**

**2016**

## DECLARACIÓN

Manifiesto que la presente obra es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto es original y que soy el titular de los derechos patrimoniales; por lo que asumo la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldré en defensa de la Universidad Técnica del Norte en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 05 días del mes de julio de 2016



Firma

Eliana Rebeca Pantoja Imbaquingo

040187049-8

## CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por **Eliana Rebeca Pantoja Imbaquingo**, bajo mi supervisión.



---

Ing. Oscar Rosales, M.Sc.

DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO

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

Yo, **ELIANA REBECA PANTOJA IMBAQUINGO**, con cédula de identidad Nro. **040187049-8**, manifiesto mi voluntad de ceder a la Universidad Técnica del Norte los derechos patrimoniales consagrados en la Ley de Propiedad Intelectual del Ecuador, artículos 4, 5 y 6, en calidad de autora de la obra o trabajo de grado denominado: **“IDENTIFICACIÓN DE LOS SERVICIOS ECOSISTÉMICOS HÍDRICOS DE CONSUMO HUMANO EN LA MICROCUENCA DEL RÍO IRUBÍ, MEDIANTE EL MODELO SWAT Y PROPUESTA DE MANEJO DEL RECURSO”**, que ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniera en Recursos Naturales Renovables en la Universidad Técnica del Norte, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente. En mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Técnica del Norte.

Ibarra, a los 05 días del mes de julio de 2016

  
Firma

Eliana Rebeca Pantoja Imbaquingo



**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:

<b>DATOS DE CONTACTO</b>			
<b>Cédula de identidad:</b>	0401870498		
<b>Apellidos y nombres:</b>	Pantoja Imbaquingo Eliana Rebeca		
<b>Dirección:</b>	Cdla. Zoila Galarraga calles Jorge Subía y Bayardo Tobar.		
<b>Email:</b>	elipantoja7,@gmail.com		
<b>Teléfono fijo:</b>	062631043	<b>Teléfono móvil:</b>	0989961623

<b>DATOS DE LA OBRA</b>	
<b>Título:</b>	<b>“IDENTIFICACIÓN DE LOS SERVICIOS ECOSISTÉMICOS HÍDRICOS DE CONSUMO HUMANO EN LA MICROCUENCA DEL RÍO IRUBÍ, MEDIANTE EL MODELO SWAT Y PROPUESTA DE MANEJO DEL RECURSO”</b>
<b>Autor:</b>	Pantoja Imbaquingo Eliana Rebeca
<b>Fecha:</b>	05 de julio de 2016
<b>Solo para trabajos de grado</b>	
<b>Programa:</b>	Pregrado
<b>Título por el que opta:</b>	Ingeniera en Recursos Naturales Renovables
<b>Director:</b>	Ing. Oscar Rosales

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

Yo, Pantoja Imbaquingo Eliana Rebeca, con cédula de ciudadanía Nro. **040187049-8**; en calidad de autor y titular de los derechos patrimoniales de la obra o trabajo de grado descrito anteriormente, hago entrega del ejemplar respectivo en formato digital y autorizo a la Universidad Técnica del Norte, la publicación de la obra en el Repositorio Digital Institucional y uso del archivo digital en la Biblioteca de la Universidad con fines académicos, para ampliar la disponibilidad del material y como apoyo a la educación, investigación y extensión; en concordancia con Ley de Educación Superior Artículo 144.

## 3. CONSTANCIAS

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 asume la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, 05 de julio de 2015.

### AUTOR:



**Pantoja Imbaquingo Eliana Rebeca**

C.I.: 0401870498

### ACEPTACIÓN:



Ing. Betty Chávez

**JEFE DE BIBLIOTECA**

## **DEDICATORIA**

*Con todo mi amor y cariño:*

*A mi padre, **Segundo Pantoja**: en agradecimiento a su esfuerzo y sacrificio diario, por apoyarme incondicionalmente y brindarme su confianza en cada momento.*

*A mi madre y amiga, **Judith Imbaquingo**: por darme la vida, su apoyo y su inmenso cariño, que con amor ha sabido guiarme e inculcar valores en mí para ser una persona de bien.*

*A mi hermanita, **Ebelyn**: por ser mi fuente de inspiración y siempre lograr sacarme una sonrisa aún en los momentos más difíciles.*

## **AGRADECIMIENTO**

*Quiero agradecer a mi director de trabajo de grado el Ing. Oscar Rosales que me guió con paciencia y dedicación, a mis asesores Ing. Tania Oña, Ing. Lourdes Yépez y Biol. Renato Oquendo; que siempre estuvieron prestos a colaborar con su tiempo y conocimientos en todas las etapas de mi trabajo.*

*De igual manera agradezco al equipo del Proyecto Prometeo Valoración ecológico-económica de los servicios ecosistemicos hídricos en condiciones de cambio climático en los ecosistemas tropicales andinos y amazónicos del Ecuador (V5E), especialmente a la Dra. Leonith Hinojosa que aportado en gran magnitud a mi investigación con sus conocimientos y consejos.*

*Agradezco también a mi compañero Jonathan, por haber sido mi mano derecha durante todo este tiempo, por su ayuda desinteresada, por darme una palabra de aliento cuando la necesité, por colaborar en cada etapa de este trabajo; agradezco no solo la ayuda brindada sino el tiempo compartido y su entrañable cariño.*

*Quiero agradecer al Ing. Paul Arias por su aporte en la realización del modelo hidrológico. A todos quienes de una u otra forma colaboraron en la culminación de este trabajo, muchas gracias.*

## RESUMEN

El manejo adecuado del recurso hídrico es un tema que con el pasar del tiempo se ha hecho importante debido a que el agua es un elemento indispensable para la vida y subsistencia del ser humano. La microcuenca del río Irubí, forma parte de la Reserva Ecológica Cotacachi-Cayapas (RECC), esta es una zona altamente diversa y brinda muchos servicios ecosistémicos a la población, uno de ellos es el agua para consumo humano. A pesar de estar en un estado aceptable de conservación, ha presentado algunos impactos negativos que afectan al ecosistema; los más notorios son la disminución de la cobertura vegetal, erosión del suelo, disminución del caudal del río y arrastre de sedimentos; esto se da por las diferentes actividades antrópicas que se llevan a cabo en el área. Al conocer la problemática ambiental y social existente en la microcuenca, se aplicó la metodología basada principalmente en identificar los servicios ecosistémicos hídricos, y realizar una caracterización general de la zona tomando en cuenta los componentes bióticos, abióticos y socioeconómicos. Se procedió a realizar el modelo hidrológico SWAT que permite evaluar el efecto del uso y manejo del suelo sobre la calidad y régimen de la producción de agua y sedimento, el que permitió analizar las variables que influyen en el recurso hídrico principalmente la simulación de caudales dentro de la microcuenca los mismos que fueron validados con los datos tomados en campo tanto para la época seca como para la época lluviosa. El modelo SWAT mostró un coeficiente de eficiencia de  $R^2 = 0.75$  aplicando la fórmula de correlación y regresión lineal lo que indica ser aceptable y eficiente. Los resultados de caudales obtenidos en campo fueron para época seca con una cantidad de  $1.58 \text{ m}^3/\text{s}$  y en época lluviosa con  $2.48 \text{ m}^3/\text{s}$ . con gran similitud a los caudales simulados con el modelo. Se demostró que los caudales simulados son diferentes para el año 2009 que existe menor cantidad de caudal con una cantidad promedio de  $0.77 \text{ m}^3/\text{s}$  en comparación con el año 2013 que registró un caudal promedio de  $1.09 \text{ m}^3/\text{s}$ . Además, se obtuvo información climática, hidrológica y de cobertura vegetal de la microcuenca ayudando así a la generación de las estrategias, proyectos y actividades necesarias para un manejo adecuado del agua enfocado a conservación, mitigación y protección del recurso hídrico enfocado en cumplir el marco legal vigente.

## SUMMARY

Proper management of water resources is an issue that over time has become important because water is essential for life and human subsistence element. Irubi the watershed of the river, is part of the Cotacachi-Cayapas Ecological Reserve (CCER), this is a highly diverse area and provides many ecosystem services to the population, one of them is water for human consumption. Despite being in an acceptable condition, it has presented some negative impacts affecting the ecosystem; the most notorious are the reduction of vegetation cover, soil erosion, reduced river flow and sediment transport; this is given by the various anthropic activities carried out in the area. By knowing the existing environmental and social problems in the watershed, mainly based methodology to identify ecosystem services was applied, and an overall characterization of the area taking into account the biotic, abiotic and socioeconomic components. He proceeded to make the SWAT hydrological model to evaluate the effect of the use and soil management on the quality and rate of production of water and sediment, which allowed the analysis of the variables that influence water resources mainly simulating flows in microwatershed the same as were validated with field data taken in both the dry season to the rainy season. The SWAT model showed efficiency coefficient  $R^2 = 0.75$  applying the formula of correlation and linear regression indicating acceptable and efficient. The results obtained in the field of flow were to dry season with an amount of  $1.58 \text{ m}^3 / \text{s}$  and in the rainy season with  $2.48 \text{ m}^3 / \text{s}$ . with great similarity to the flow simulated with the model. It was shown that the simulated flows are different for 2009 there is less amount of flow with an average amount of  $0.77 \text{ m}^3 / \text{s}$  compared to 2013 which recorded an average flow of  $1.09 \text{ m}^3 / \text{s}$ . Besides climate, water and vegetation cover of the watershed information it was obtained thereby helping the generation of strategies, projects and activities necessary for proper water management focused on conservation, mitigation and protection of water resources focused on meeting the current legal framework.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

<b>1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
1.1. OBJETIVOS .....	3
1.1.1. Objetivo General.....	3
1.1.2. Objetivos Específicos .....	3
1.2. PREGUNTA DIRECTRIZ.....	4
<b>2. REVISIÓN DE LITERATURA .....</b>	<b>5</b>
2.1. LA CUENCA HIDROGRÁFICA COMO PRODUCTORA DE AGUA.....	5
2.1.1. Aspectos climáticos .....	6
2.1.2. Aspectos hidrológicos.....	6
2.1.3. Cobertura vegetal.....	7
2.2. MODELO SWAT .....	7
2.2.1. Descripción general del SWAT .....	8
2.2.2. Unidades de respuesta hidrológica .....	9
2.2.3. Aplicación del modelo SWAT en cuencas hidrográficas .....	9
2.3. MANEJO DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS.....	10
2.4. SERVICIOS ECOSISTÉMICOS .....	11
2.4.1. Tipos de servicios ecosistémicos .....	11
2.5. AGUA PARA CONSUMO HUMANO.....	12
2.6. RELACIÓN ENTRE EL AGUA PARA CONSUMO HUMANO Y LOS SERVICIOS ECOSISTÉMICOS	13
2.7. FUNCIONAMIENTO DEL MOLINETE ELECTRÓNICO.....	14
2.8. MARCO LEGAL .....	14
2.8.1. Constitución Política de la República del Ecuador .....	14
2.8.2. Ley orgánica de recursos hídricos, usos y aprovechamiento del agua .....	17
2.8.3. Acuerdo 061 (Reforma del Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria de Medio Ambiente).....	19
2.8.4. Plan Nacional del Buen Vivir.....	20
<b>3. MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>21</b>
3.1. MATERIALES.....	21

3.2. MÉTODOS .....	22
3.2.1. Caracterización del área de estudio .....	22
3.2.1.1. Aspectos climáticos .....	23
3.2.1.2. Aspectos hidrológicos .....	23
3.2.1.3. Cobertura vegetal.....	24
3.2.2. Recopilación y digitalización de cartográfica base .....	24
3.2.3. Aplicación del modelo hidrológico SWAT .....	25
3.2.3.1. Ingreso de variables ambientales al modelo SWAT.....	25
3.2.4. Calibración y validación del modelo SWAT.....	34
3.2.4.1. Medición de caudales con molinete electrónico.....	35
3.2.5. Elaboración de propuesta de manejo del recurso hídrico.....	36
<b>4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>39</b>
4.1. CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA.....	39
4.1.1. Aspectos climáticos .....	39
4.1.2. Aspectos Hidrológicos.....	43
4.1.3. Cobertura Vegetal.....	45
4.1.4. Cartografía temática .....	46
4.2. MODELAMIENTO HIDROLÓGICO SWAT .....	51
4.2.1. Variables climáticas.....	52
4.2.2. Uso del suelo .....	55
4.2.3. Texturas del suelo.....	55
4.2.4. Pendientes.....	57
4.2.5. Resultados obtenidos mediante SWAT .....	58
4.2.5.1. Caudales.....	60
4.2.5.2. Producción de sedimentos .....	66
4.3. PROPUESTA DE MANEJO DEL RECURSO HÍDRICO PARA LA MICROCUENCA DEL RÍO IRUBÍ	67
4.3.1. Datos generales de la propuesta.....	68
4.3.1.1. Cobertura y localización.....	68
4.3.2. Diagnóstico y problema.....	69
4.3.2.1. Descripción de la situación actual del área.....	70
4.3.2.2. Identificación, descripción y diagnóstico del problema .....	70

4.3.2.3. Matriz FODA.....	71
4.3.2.4. Identificación y análisis de involucrados.....	74
4.3.3. Objetivos de la propuesta .....	75
4.3.3.1. Objetivo general .....	75
4.3.3.2. Objetivos específicos.....	75
4.3.4. Estrategias de ejecución.....	76
4.3.4.1. Estrategia 1: Prevención y mitigación.....	78
4.3.4.2. Estrategia 2: Educación ambiental .....	84
<b>5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>92</b>
5.1. CONCLUSIONES.....	92
5.2. RECOMENDACIONES .....	93
<b>6. BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>94</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>98</b>

## ÍNDICE DE CUADROS

<b>Cuadro 3.1.</b> Materiales y equipos utilizados.....	21
<b>Cuadro 3.2.</b> Ubicación geográfica del área de estudio, Proyección UTM, Datum WGS 84, Zona 17 Sur.....	23
<b>Cuadro 3.3.</b> Interpretación de códigos de los parámetros de texturas del suelo.....	26
<b>Cuadro 3.4.</b> Descripción de los campos correspondientes a tipos y texturas del suelo.....	27
<b>Cuadro 3.5.</b> Grupos hidrológicos.....	31
<b>Cuadro 3.6.</b> Descripción de variables ingresadas en ArcSWAT para los campos de clima.....	31
<b>Cuadro 3.7.</b> Ficha para el registro de datos de los aforos líquidos superficiales.....	36
<b>Cuadro 4.1.</b> Precipitación de la estación Apuela-Intag.....	40
<b>Cuadro 4.2.</b> Datos de temperatura y precipitación de la estación Inguincho.....	41
<b>Cuadro 4.3.</b> Datos de temperatura y precipitación de la estación Otavalo.....	42
<b>Cuadro 4.4.</b> Tipos de clima.....	43
<b>Cuadro 4.5.</b> Cobertura vegetal.....	45
<b>Cuadro 4.6.</b> Red hídrica.....	47
<b>Cuadro 4.7.</b> Tipos de suelo.....	48
<b>Cuadro 4.8.</b> Isoyetas.....	48
<b>Cuadro 4.9.</b> Isotermas.....	49
<b>Cuadro 4.10.</b> Zonas de vida.....	50
<b>Cuadro 4.11.</b> Uso actual del suelo.....	51
<b>Cuadro 4.12.</b> Uso potencial del suelo.....	51
<b>Cuadro 4.13.</b> Variables climáticas ingresadas al modelo.....	53
<b>Cuadro 4.14.</b> Uso del suelo reclasificado por SWAT.....	55
<b>Cuadro 4.15.</b> Parámetros de suelo ingresadas a SWAT.....	56
<b>Cuadro 4.16.</b> Datos simulados por SWAT.....	59
<b>Cuadro 4.17.</b> Caudales simulados por SWAT en m <sup>3</sup> /s.....	61
<b>Cuadro 4.18.</b> Caudales calibrados en m <sup>3</sup> /s.....	63
<b>Cuadro 4.19.</b> Caudales medidos.....	64
<b>Cuadro 4.20.</b> Producción de sedimentos.....	67
<b>Cuadro 4.21.</b> Criterios para la valoración de los riesgos de erosión.....	67

<b>Cuadro 4.22.</b> Matriz FODA.....	72
<b>Cuadro 4.23.</b> Análisis de involucrados.....	74
<b>Cuadro 4.24.</b> Cuadro de estrategias, proyectos y actividades.....	77
<b>Cuadro 4.25.</b> Especies Nativas por hectárea.....	79
<b>Cuadro 4.26.</b> Estructura de talleres a realizar.....	87
<b>Cuadro 4.27.</b> Cronograma valorado de propuesta de manejo.....	89

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 2.1.</b> Clasificación de los servicios ecosistemicos.....	12
<b>Figura 3.1.</b> Mapa de ubicación del área de estudio.....	22
<b>Figura 4.1.</b> Diagrama ombrotérmico estación Inguincho.....	41
<b>Figura 4.2.</b> Diagrama ombrotérmico estación Otavalo.....	42
<b>Figura 4.3.</b> Mapa hídrológico de la microcuenca.....	44
<b>Figura 4.4.</b> Clasificación de la cobertura vegetal.....	46
<b>Figura 4.5.</b> Textura del suelo clasificado por SWAT periodo 2009-2013.....	57
<b>Figura 4.6.</b> Pendientes generadas por SWAT.....	58
<b>Figura 4.7.</b> Coeficiente de eficiencia de caudales simulados por SWAT.....	62
<b>Figura 4.8.</b> Comparación de caudales para los años 2009 y 2013.....	64
<b>Figura 4.9.</b> Coeficiente de eficiencia de caudales calibrados.....	65
<b>Figura 4.10.</b> Ubicación del área donde se efectuará la propuesta.....	69
<b>Figura 4.11.</b> Determinación de involucrados estratégicos: “Poder vs. Interés”.....	75
<b>Figura 4.12.</b> Áreas en proceso de regeneración.....	80
<b>Figura 4.13.</b> Areas destinadas al proyecto de recuperacion de espacios degradados .....	81
<b>Figura 4.14.</b> Representación gráfica del área y cercado de la fuente.....	83
<b>Figura 4.15.</b> Letrero de señalización.....	85
<b>Figura 4.15.</b> Plano de ubicación de letrero.....	85

# CAPÍTULO I

## 1. INTRODUCCIÓN

El estudio sobre servicios ecosistémicos se ha ido fortaleciendo en los últimos años y según (Guerrero, De Keizer, & Córdoba, 2006) “Se lo ha tomado como una estrategia para mejorar la gestión del recurso, promoviendo así la conservación y el uso sustentable” en este caso conlleva a un enfoque de gestión del agua, que implica el uso adecuado del recurso sin afectar el bienestar social. En la presente investigación se realizó una identificación y modelamiento hidrológico de los servicios ecosistémicos, relacionados con el agua de consumo humano en la microcuenca del río Irubí, que se encuentra ubicada en la zona de Intag, en la parroquia Apuela, perteneciente al cantón Cotacachi. Este trabajo forma parte del proyecto de investigación “Valoración ecológico-económica de los servicios ecosistémicos hídricos en condiciones de cambio climático en los ecosistemas tropicales andinos y amazónicos del Ecuador” (V5E), ejecutado en su primera fase en el Cantón Cotacachi bajo un acuerdo inter-institucional entre la Universidad Técnica del Norte y el Gobierno Autónomo Descentralizado del Cantón Cotacachi y con el apoyo financiero del Proyecto Prometeo de la Secretaría de Educación Superior, Ciencia, Tecnología e Innovación (SENESCYT).

Tomando en cuenta la problemática existente, después de identificar y analizar dichos servicios y obtener los resultados de caudal y sedimentos por medio del modelamiento hidrológico SWAT, se elaboró una propuesta para el manejo adecuado del recurso agua encaminada a la conservación del mismo. La microcuenca del río Irubí posee un gran valor ecológico al encontrarse en la zona de Intag “La cual se extiende por dos de las 34 áreas biológicas más importantes del mundo” (Kocian, Batker, & Harrison-Cox, 2011) estos son

hot spots del Chocó y Andes Tropicales. La finalidad del presente estudio es generar información básica de la microcuenca, para beneficiarse así de los servicios ecosistémicos que abastece a la población.

Con el pasar de los años se ha ido desarrollando una conciencia de que el planeta es un ecosistema único, en el cual, cualquier acción o impacto que los seres humanos generan, conlleva a formar un deterioro y repercute en la Tierra, uno de los temas que más se ha tomado en cuenta es el aumento de la temperatura media del planeta estos, abarca muchos aspectos relevantes que afectan directamente a la humanidad, como lo es el deterioro de los recursos naturales muy indispensables para la supervivencia de la especie humana. De aquí entonces, se puede señalar que el recurso natural hídrico es un factor indispensable para diversas actividades socio-económicas y sobre todo para el consumo humano.

La parte alta del río Irubí, se encuentra dentro de la Reserva Ecológica Cotacachi Cayapas (RECC), esta es una zona con alta diversidad biológica que brinda muchos servicios a la población, uno de ellos es el agua para consumo, que a pesar de ser abundante en este tipo de ecosistemas no está siendo manejado adecuadamente, algunos de los impactos más notorios de la zona se presentan con la disminución de la cobertura vegetal causada por la deforestación y extracción de madera. “En la región Vertiente Occidental Andina la tasa de deforestación es de 7574.8 has/año” (SIMCE, 2011)

En la microcuenca media se realizan varias actividades económicas, entre ellas las más sobresaliente son la agricultura y ganadería que están afectando en gran magnitud por la existencia de sobrepastoreo y monocultivos que provocan la erosión del suelo. En esta zona, se encuentran también áreas rurales, que están creciendo rápidamente, esto implica una mayor demanda de agua de calidad en dichos asentamientos; además, el avance de la frontera agrícola, el arrastre de sedimentos y la variación del caudal del agua en la zona, afecta directamente la disponibilidad del recurso hídrico, y en si a la población que lo utiliza.

Manejar adecuadamente el recurso hídrico es un tema que se ha hecho importante con el pasar de los años, dada la gran problemática que la degradación de este recurso representa para la humanidad, es por esta razón que el manejo de los recursos hídricos constituye una

vía eficaz para aprovechar sustentablemente estos recursos y los servicios ecosistémicos. Tomando en cuenta el avance científico sobre el conocimiento de ecosistemas y servicios ecosistémicos en general, se puede afirmar la importancia de estos estudios en cuencas hidrográficas, referentes al agua de consumo humano. No obstante, dichos estudios en el área de bosque andino son casi inexistentes.

Al conocer la problemática ambiental y social existente en la microcuenca del río Irubí, se aplicó un modelamiento hidrológico con el fin de evaluar el efecto del uso y manejo del suelo sobre la calidad y cantidad de la producción de agua y sedimento, el que permitió analizar las variables principales como son caudales y aporte de sedimentos que influyen en gran magnitud en el recurso hídrico para consumo humano; además al identificar los servicios ecosistémicos, y realizar una caracterización general de la zona se logró realizar una propuesta de manejo que contiene las principales alternativas y soluciones para el uso adecuado de los recursos hídricos utilizados para consumo humano, ayudando así a mejorar la calidad de vida de la población que se encuentra dentro del área de estudio.

## **1.1. Objetivos**

A continuación, se muestran los objetivos a ser cumplidos en el estudio.

### **1.1.1. Objetivo General**

Realizar el modelo hidrológico de los servicios ecosistémicos hídricos de consumo humano en la microcuenca del río Irubí, para proponer el manejo del recurso.

### **1.1.2. Objetivos Específicos**

- Caracterizar los aspectos climáticos, hidrológicos y cobertura vegetal de la microcuenca.
- Aplicar el modelo hidrológico SWAT en la producción de agua y aporte de sedimentos.

- Proponer el manejo del recurso hídrico en base a los datos obtenidos con el modelo.

## **1.2. Pregunta directriz**

¿Los servicios ecosistémicos hídricos obtenidos con el modelo hidrológico son diferentes para los años 2009 y 2013?

## **CAPÍTULO II**

### **2. REVISIÓN DE LITERATURA**

En el siguiente capítulo se detalla la revisión bibliográfica y el marco legal referente a la investigación realizada.

#### **2.1. La cuenca hidrográfica como productora de agua**

Físicamente, la cuenca hidrográfica es representada como una fuente natural de captación y concentración de agua superficial conformado por un sistema hídrico el cual conduce sus aguas al cauce de un río más grande, a un lago o un mar; además posee una relación entre la cobertura y profundidad del suelo integrando también todo el entorno.

(Umaña, 2002) define una cuenca hidrográfica como: Un área definida por la línea divisoria de aguas en la cual se desarrolla un sistema hídrico superficial, este sistema es capaz de formar una red de cursos de agua que agrupan caudales, hasta formar un río principal que lleva sus aguas a un lago o mar (p.3).

Al mismo tiempo en la cuenca, se encuentran los recursos naturales, las infraestructuras creadas por el hombre para su desarrollo económico y social, generando aspectos positivos y negativos. El recurso agua visto desde la perspectiva positiva, es una fuente de vida para la humanidad, así como también se toma en cuenta el aspecto negativo, esto es cuando ocurren fenómenos naturales como sequías o inundaciones y también cuando el agua se contamina, esto implica un riesgo para la humanidad.

### **2.1.1. Aspectos climáticos**

El clima es una palabra proveniente del griego klima, que indica la inclinación del sol. Es la consideración del estrado de las condiciones atmosféricas en un lapso de tiempo prolongado, el que se constituye al menos de 30 años de acuerdo a la Organización Meteorológica Mundial. Tomando en cuenta el área de estudio se puede hablar de clima mundial, zonal, regional o microclimas; nombre que se le da al estudio de un punto determinado (Reyes, 2002). Las variables que caracterizan el clima son la temperatura, y precipitación.

Temperatura: Se conoce como temperatura la cantidad de calor presente en una masa de aire sobre un lugar determinado y que se mide en un lugar cubierto y ventilado a 2m de altura (IDEAM, 2005). Para evaluar la variabilidad de temperatura en zonas ecuatoriales se considera las fluctuaciones diarias, mensuales y anuales. La presentación de variación de la temperatura a través de líneas se conoce como isotermas y permite apreciar con mayor facilidad la distribución espacial y temporal de esta característica del clima.

Precipitación: Por su incidencia en el flujo del agua se conoce a la precipitación como una de las características más importantes del clima; la precipitación además de favorecer la vida en el planeta, incide en varios procesos como erosión y descomposición de los suelos. Para representar gráficamente la distribución de las lluvias en un lugar determinado por medio de líneas se utilizan las llamadas isoyetas.

### **2.1.2. Aspectos hidrológicos**

A la cuenca hidrográfica se le reconoce como un área de terreno conformada por un sistema hídrico, el cual tiene un río principal, sus afluentes secundarios, terciarios, de cuarto orden o más. El sistema hídrico refleja un comportamiento de acuerdo a cómo se están manejando los recursos agua, suelo y bosque; y qué actividades o infraestructuras afectan su funcionamiento en cuanto a cantidad y calidad. Todo punto de la tierra puede relacionarse con el espacio de una cuenca hidrográfica, a veces corresponde a las partes altas, laderas, lugares ondulados, sitios planos y zonas bajas, que pueden localizarse hasta en las zonas costeras, cuando la cuenca conduce su drenaje a un océano o mar (MAYRN, 2010).

### **2.1.3. Cobertura vegetal**

La influencia de la vegetación sobre la precipitación y aumento de caudales es muy grande, la precipitación que una cuenca recibe proviene de la evapotranspiración. Dentro de este fenómeno actúa también la interceptación de la lluvia por las coberturas vegetales; si bien es cierto que una parte de la precipitación es absorbida por la superficie de la vegetación, no hay que dejar de lado que este es un factor determinante de la cantidad de agua que llegue a los acuíferos; a mayor cobertura vegetal mayor cantidad de agua (Villegas, 2004).

### **2.2. Modelo SWAT**

SWAT son las siglas de Herramienta para la Evaluación del Suelo y Agua para una cuenca hidrográfica; el modelo (Soil and Water Assessment Tool) fue desarrollado por el Dr. Jeff Arnold para el USDA, el Servicio Agrícola de Investigación en conjunto con la Universidad de Texas es una extensión gratuita del Arcgis este es un modelo a nivel de cuencas hidrográficas diseñado para ser aplicado en cuencas hidrográficas, de pequeñas hasta grandes extensiones de tierra, con fines de evaluar el efecto del uso y manejo del suelo sobre la calidad y régimen de las producciones de agua y sedimento, así como las cargas de elementos químicos asociados (Silva, 2002).

El SWAT se basa en un balance hídrico para determinar la entrada, la salida y el almacenamiento de agua en la cuenca. Para el modelamiento, la cuenca hidrográfica es dividida en subcuencas y unidades de respuesta hidrológica (HRU), las cuales son obtenidas del cruce de los diferentes tipos de suelo, pendiente y coberturas presentes. Este modelo es tomado en cuenta con la finalidad de establecer los servicios que brinda el ecosistema referente al agua de consumo humano, así se puede detallar que el componente de hidrología contempla procesos de escurrimiento superficial, infiltración profunda, flujo de agua lateral superficial, flujo de agua subterránea, evapotranspiración y fusión de nieve.

SWAT es un modelo continuo de tiempo, es decir un modelo conformado a largo plazo, que no está diseñado para simular un solo acontecimiento de flujo detallado. Este modelo requiere información específica sobre el clima y tiempo, propiedades del suelo, topografía, vegetación y prácticas de manejo de tierra que se realizan dentro de las cuencas para utilizar estas como

datos de entrada. Los procesos físicos asociados con el movimiento del agua, movimiento de sedimento, desarrollo de cosecha, ciclo de nutrientes y otros son calculados directamente por el modelo.

### 2.2.1. Descripción general del SWAT

El modelo permite varios procesos físicos para ser simulados en una determinada cuenca hidrográfica, en resumen, la simulación hidrológica de la cuenca se divide en dos, la primera es la fase del ciclo hidrológico, la cual controla la cantidad de agua, sedimentos, las cargas nutritivas y de pesticidas; y la segunda es la fase de enrutamiento del ciclo hidrológico, la cual define el movimiento de los mismos (CIAT, 2010).

(Neitsch, *et al.* 2005), indican que el ciclo hidrológico es simulado por SWAT basado en la ecuación del equilibrio de agua:

$$SW_t = SW_0 + \sum (R_{day} - Q_{surf} - E_a - W_{seep} - Q_{gw})$$

Donde:

$SW_t$  es el contenido final de agua en el suelo (mm H<sub>2</sub>O).

$SW_0$  es el contenido inicial de agua del suelo en un día  $i$  (mm H<sub>2</sub>O).

$t$  es el tiempo (días).

$R_{day}$  es la cantidad de precipitación en un día  $i$  (mm H<sub>2</sub>O).

$Q_{surf}$  es la cantidad de escorrentía de la superficie en día  $i$  (mm H<sub>2</sub>O)

$E_a$  es la cantidad de evapotranspiración en día (mm H<sub>2</sub>O).

$W_{seep}$  es la cantidad de agua que entra en la zona que percola en el perfil del suelo en día (mm H<sub>2</sub>O).

$Q_{gw}$  es la cantidad del flujo de retorno en un día (mm H<sub>2</sub>O).

### **2.2.2. Unidades de respuesta hidrológica**

Las unidades de respuesta hidrológica o HRU por sus siglas en inglés (Hydrologic Response Units) son áreas de una cuenca que son homogéneas en términos de su respuesta hidrológica y características geo-climáticas.

Estas unidades homogéneas conformadas principalmente por suelo, cobertura vegetal y pendiente, cada una de estas con su respectiva importancia hidrológica como son los tipos de suelo, la vegetación y uso del suelo, la pendiente que determina la velocidad de la escorrentía superficial y la elevación porque el volumen de precipitación varía con la altura; en otras palabras, cada polígono de HRU tiene un mismo suelo, cobertura vegetal y pendiente. Cada HRU resulta de la intersección espacial de estas 3 coberturas (Hurtado, 2012).

### **2.2.3. Aplicación del modelo SWAT en cuencas hidrográficas**

El modelo hidrológico SWAT ha sido aplicado como herramienta de apoyo en algunos estudios realizados en el país, principalmente para determinar cómo afectan las diferentes actividades realizadas en los suelos sobre la generación de caudales y sedimentos. Algunos de los estudios realizados se detallan a continuación:

En el año 2006 se aplicó el modelo SWAT, como una herramienta de apoyo a la gestión de la subcuenca del río Ambato, para determinar cómo las diferentes prácticas agrícolas afectan en la generación de caudales y sedimentos. Para este estudio se contó con información física y climática; posteriormente se realizó la simulación y calibración del modelo, finalmente se crearon escenarios en los que se simulen diferentes situaciones planteadas por el usuario con la finalidad de predecir cómo estos (Proaño, et al, 2006).

El modelo SWAT 99.2 fue aplicado en el año 2005 para el análisis del impacto de la deforestación y del avance de la frontera agrícola en la producción y el almacenamiento del recurso agua en las partes alta y media de la Subcuenca del río San Pedro; este estudio fue en base al modelamiento y calibración con datos de 10 años de caudales y datos meteorológicos además de complementar con un análisis multitemporal (Valenzuela, 2005).

La simulación hidrológica pretende reproducir, todos los procesos físicos que conforman el ciclo hidrológico en una cuenca hidrográfica, utilizando un modelo matemático que los represente adecuadamente. En la cuenca alta del río Catamayo se utilizó el modelo SWAT, que permite pronosticar el impacto del manejo del suelo en la generación de sedimentos y la regulación del agua en cuencas hidrográficas. El río Catamayo, forma parte de la cuenca binacional Catamayo – Chira, ubicada en la zona fronteriza entre Ecuador y Perú. El área de estudio está ubicada íntegramente en la provincia de Loja, Ecuador, en una zona explotada por actividades de forma tradicional ineficiente con un uso de los recursos naturales caracterizado por una fuerte extracción, que provoca una degradación, especialmente de la cubierta vegetal, además de una erosión de los suelos, la disminución de su fertilidad y el arrastre de sólidos hacia los cursos de agua. Este estudio fue realizado por la Universidad Técnica Particular de Loja (Oñate & Aguilar, 2010).

La modelación de balance hídrico con la herramienta SWAT ha permitido obtener resultados bastante confiables principalmente en la simulación de caudales, como se ha podido comprobar en la etapa de calibración y validación del modelo. En este caso se lo utilizó por parte de la Secretaría Nacional de Gestión de Riesgos que se refiere a la modelación hidrológica en el período 2002-2012, en el río Las Juntas (SGR, 2012)

### **2.3. Manejo de cuencas hidrográficas**

La gestión que el hombre realiza a nivel de una cuenca hidrográfica se le da el nombre de manejo de cuencas, esto con la finalidad de mejorar su calidad de vida por medio de la producción óptima y sostenida, tomando en cuenta sus necesidades, sin dejar de lado el aprovechamiento, protección y conservación de los recursos naturales (Umaña, 2002).

Un buen manejo de cuencas hidrográficas se da cuando utilizamos las problemáticas y realidades que se presentan en la microcuenca de estudio, según la (FAO, 2007) “manejo es toda gestión que se realiza a nivel de los espacios territoriales definidos por límites hidrográficos, es decir cuencas hidrográficas” para esto se debe tomar en cuenta muchos aspectos relevantes como los actores, el por qué y el para que de una investigación, que

buscamos con el estudio, entre otros; estos temas van a ser esenciales para el éxito de un proyecto o estudio.

## **2.4. Servicios ecosistémicos**

Los servicios ecosistémicos son “los beneficios que el ecosistema nos brinda por medio de sus funciones” (Benites, et al, 2007). Este conjunto de componentes y procesos son absorbidos, disfrutados y conllevan a aumentar el bienestar poblacional tomando en cuenta la demanda de los que se benefician de dichos servicios como también, la dinámica de los ecosistemas manteniendo un equilibrio.

Otros criterios como (Achinelli, Perucca, & Ligier, 2010) cita que “los servicios ecosistémicos son los aspectos del ecosistema utilizados de forma pasiva o activa por la sociedad para su bienestar” (p.90). Con el pasar del tiempo este término ha venido siendo utilizado en gran magnitud por varios equipos de investigación ambiental, buscando así, mostrar la interrelación entre el ser humano y los ecosistemas. Lo que se busca con este tipo de estudios es dar a conocer a la población una visión que permita un uso adecuado de los recursos naturales.

### **2.4.1. Tipos de servicios ecosistémicos**

Al ser los servicios ecosistémicos un concepto muy reciente, existen varias formas de clasificarlos, pero ninguna clasificación es definitiva, que englobe las diversas necesidades y que sea aceptada universalmente. La clasificación más común según (Balvanera & Cotler, 2009) es “la que los divide en bienes y servicios, para destacar la diferencia entre lo que consumimos, que es tangible, y aquello que nos beneficia de manera menos tangible”. La Evaluación de los Ecosistemas del Milenio MA como se citó en (Camacho & Ruiz, 2012) coincide con la clasificación anterior, esta posiblemente es la más difundida y aceptada ya que define los servicios ecosistémicos como “los beneficios que la población obtiene de los ecosistemas”. Partiendo de estos conceptos se obtiene una clasificación que se divide en: Servicios de soporte, aquellos que son necesarios para la producción de todos los demás servicios, también existen los servicios de aprovisionamiento, estos son los productos

obtenidos del ecosistema, los servicios de regulación, son aquellos beneficios obtenidos de la regulación de los procesos del ecosistema y finalmente los servicios culturales que son los beneficios no materiales que la gente obtiene de los ecosistemas.



**Figura 2.1.** Clasificación de los servicios ecosistémicos.  
**Fuente:** (Millennium Ecosystem Assessment, 2005)

## 2.5. Agua para consumo humano

En todas las regiones del mundo el agua se ha convertido en un factor importante para diversas actividades económicas y sociales, indispensable para la salud humana, la producción de alimentos y la industria.

Aunque 70% de la superficie del planeta está compuesta por agua, solamente 2,5% es dulce, y de esta última poco menos de 0,3% es agua superficial. La cantidad de agua dulce superficial junto con la subterránea de todo el planeta es menor a 1% lo que implica que solamente 200000 km<sup>3</sup> están disponibles para el consumo humano y el mantenimiento de los ecosistemas naturales (Guerrero, Rives, Rodríguez, Saldívar, & Cervantes, 2009).

La disponibilidad de agua en el mundo es muy variada, existen países que poseen una gran cantidad del recurso para consumo humano, y en otros existe escasez; esto nos indica que la distribución de agua en el mundo no es equitativa, y que, así como muchas regiones poseen

suficientes cantidades de agua para cubrir sus necesidades no la están manejando adecuadamente.

La dinámica del ciclo hidrológico es único, conforme la humanidad ha tenido la necesidad de modificar el ciclo natural para poder aprovechar el agua y satisfacer sus necesidades, se ha podido observar la generación de ciclos artificiales o antrópicos del agua, estos no solo modifican su circulación, sino que implican una variación en sus características y su calidad (Fernández & Mortier, 2005).

Desde la perspectiva del ciclo hidrológico natural el agua dulce es un recurso renovable, pero es finito; la contaminación generada por diversos usos como agricultura ganadería, consumo humano; conlleva a su escasez y deja de ser apta para ser consumida por la humanidad.

## **2.6. Relación entre el agua para consumo humano y los servicios ecosistémicos**

Las funciones de los ecosistemas hacen posible que: “el ser humano obtenga múltiples beneficios directos e indirectos relacionados con la disponibilidad de agua para distintos usos” (Retamal, et al 2008).

Algunos de estos servicios ecosistémicos son:

- Generación de agua para hidroeléctricas
- Agua para consumo humano
- Regulación de los niveles de agua subterránea
- Conservación de hábitats acuáticos
- Regulación del flujo de agua, especialmente durante la época seca
- Control de inundaciones
- Control de la erosión y producción de sedimentos
- Agua para satisfacer necesidades directas de consumo humano

La obtención de dichos servicios depende de algunas características que tenga el ecosistema. Entre los servicios ecosistémicos hídricos de consumo humano, se toma en cuenta algunos

beneficios que prestan los ecosistemas, especialmente, con el tema de disponibilidad de agua de buena calidad, y que sirven para satisfacer las diferentes necesidades humanas de consumo directo, como por ejemplo la preparación de alimentos y aseo personal. Satisfacer las necesidades de agua de buena calidad en varios hogares actualmente es posible porque se puede obtener diferentes infraestructuras muy adecuadas para captar agua, así como también para conducirla y distribuirla a los diferentes hogares, con su respectivo tratamiento.

## **2.7. Funcionamiento del molinete electrónico**

El molinete electrónico es un instrumento que tiene una hélice o rueda de cazoletas, que gira al introducirla en una corriente de agua. El de tipo de taza cónica gira sobre un eje vertical y en este caso el de tipo hélice gira sobre un eje horizontal. En ambos casos la velocidad de rotación es proporcional a la velocidad de la corriente; se cuenta el número de revoluciones en un tiempo dado. Los molinetes pueden ir montados en soportes o suspendidos de cables (Vargas, 2005). Un molinete mide la velocidad en un único punto, es por esto que, para calcular el caudal total se deben realizar varias mediciones según el grado de precisión que se desee obtener.

## **2.8. Marco Legal**

El marco legal principal que respalda esta investigación está conformado por:

- Constitución Política de la República del Ecuador del año 2008
- Ley orgánica de recursos hídricos, usos y aprovechamiento del agua
- Reforma del Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria de Medio Ambiente
- Plan Nacional del Buen Vivir

### **2.8.1. Constitución Política de la República del Ecuador**

Según la Constitución Política de la República del Ecuador los artículos que amparan la presente investigación son los siguientes:

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. 14.- Se reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir, SUMAK KAWSAY. Se declara de interés público la preservación del ambiente, la conservación de los ecosistemas, la biodiversidad y la integridad del patrimonio genético del país, la prevención del daño ambiental y la recuperación de los espacios naturales degradados.

Art. 71.- La naturaleza o Pacha Mama, donde se reproduce y realiza la vida, tiene derecho a que se respete integralmente su existencia y el mantenimiento y regeneración de sus ciclos vitales, estructura, funciones y procesos evolutivos.

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. 74.- Las personas, comunidades, pueblos y nacionalidades tendrán derecho a beneficiarse del ambiente y de las riquezas naturales que les permitan el buen vivir. Los servicios ambientales no serán susceptibles de apropiación; su producción, prestación, uso y aprovechamiento serán regulados por el Estado.

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. La gestión del agua será exclusivamente pública o comunitaria. El servicio público de saneamiento, el abastecimiento de agua potable y el riego serán prestados únicamente por personas jurídicas estatales o comunitarias.

Art. 395.- La Constitución reconoce los siguientes principios ambientales:

1. El Estado garantizará un modelo sustentable de desarrollo, ambientalmente equilibrado y respetuoso de la diversidad cultural, que conserve la biodiversidad y la capacidad de regeneración natural de los ecosistemas, y asegure la satisfacción de las necesidades de las generaciones presentes y futuras.

Art. 404.- El patrimonio natural del Ecuador único e invaluable comprende, entre otras, las formaciones físicas, biológicas y geológicas cuyo valor desde el punto de vista ambiental, científico, cultural o paisajístico exige su protección, conservación, recuperación y promoción. Su gestión se sujetará a los principios y garantías consagrados en la Constitución y se llevará a cabo de acuerdo al ordenamiento territorial y una zonificación ecológica, de acuerdo con la ley.

Art. 405.- El sistema nacional de áreas protegidas garantizará la conservación de la biodiversidad y el mantenimiento de las funciones ecológicas. El sistema se integrará por los subsistemas estatal, autónomo descentralizado, comunitario y privado, y su rectoría y regulación será ejercida por el Estado.

Art. 406.- El Estado regulará la conservación, manejo y uso sustentable, recuperación, y limitaciones de dominio de los ecosistemas frágiles y amenazados; entre otros, los páramos, humedales, bosques nublados, bosques tropicales secos y húmedos y manglares, ecosistemas marinos y marinos-costeros.

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.

## **2.8.2. Ley orgánica de recursos hídricos, usos y aprovechamiento del agua**

Según la Ley orgánica de recursos hídricos, usos y aprovechamiento del agua, los artículos que amparan esta investigación son los siguientes:

Artículo 12.- Protección, recuperación y conservación de fuentes. El Estado, los sistemas comunitarios, juntas de agua potable y juntas de riego, los consumidores y usuarios, son corresponsables en la protección, recuperación y conservación de las fuentes de agua y del manejo de páramos, así como la participación en el uso y administración de las fuentes de aguas que se hallen en sus tierras, sin perjuicio de las competencias generales de la Autoridad Única del Agua de acuerdo con lo previsto en la Constitución y en esta Ley.

Artículo 13.- Formas de conservación y de protección de fuentes de agua. Constituyen formas de conservación y protección de fuentes de agua: las servidumbres de uso público, zonas de protección hídrica y las zonas de restricción.

Los terrenos que lindan con los cauces públicos están sujetos en toda su extensión longitudinal a una zona de servidumbre para uso público, que se regulará de conformidad con el Reglamento y la Ley.

Para la protección de las aguas que circulan por los cauces y de los ecosistemas asociados, se establece una zona de protección hídrica. Cualquier aprovechamiento que se pretenda desarrollar a una distancia del cauce, que se definirá reglamentariamente, deberá ser objeto de autorización por la Autoridad Única del Agua, sin perjuicio de otras autorizaciones que procedan.

En los acuíferos se delimitarán zonas de restricción en las que se condicionarán las actividades que puedan realizarse en ellas en la forma y con los efectos establecidos en el Reglamento a esta Ley.

Artículo 57.-Definición. El derecho humano al agua es el derecho de todas las personas a disponer de agua limpia, suficiente, salubre, aceptable, accesible y asequible para el uso personal y doméstico en cantidad, calidad, continuidad y cobertura.

Forma parte de este derecho el acceso al saneamiento ambiental que asegure la dignidad humana, la salud, evite la contaminación y garantice la calidad de las reservas de agua para consumo humano.

El derecho humano al agua es fundamental e irrenunciable. Ninguna persona puede ser privada y excluida o despojada de este derecho.

El ejercicio del derecho humano al agua será sustentable, de manera que pueda ser ejercido por las futuras generaciones.

Artículo 64.- Conservación del agua. La naturaleza o Pacha Mama tiene derecho a la conservación de las aguas con sus propiedades como soporte esencial para todas las formas de vida. En la conservación del agua, la naturaleza tiene derecho a:

- a) La protección de sus fuentes, zonas de captación, regulación, recarga, afloramiento y cauces naturales de agua, en particular, nevados, glaciares, páramos, humedales y manglares;
- c) La preservación de la dinámica natural del ciclo integral del agua o ciclo hidrológico;
- d) La protección de las cuencas hidrográficas y los ecosistemas de toda contaminación; y,
- e) La restauración y recuperación de los ecosistemas por efecto de los desequilibrios producidos por la contaminación de las aguas y la erosión de los suelos.

Artículo. 65.- Gestión integrada del agua. Los recursos hídricos serán gestionados de forma integrada e integral, con enfoque ecosistémico que garantice la biodiversidad, la sustentabilidad y su preservación conforme con lo que establezca el Reglamento de esta Ley.

Artículo 66.- Restauración y recuperación del agua. La restauración del agua será independiente de la obligación del Estado y las personas naturales o jurídicas de indemnizar a los individuos y colectivos afectados por la contaminación de las aguas o que dependan de los ecosistemas alterados.

**2.8.3. Acuerdo 061 (Reforma del Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria de Medio Ambiente).**

CAPÍTULO VIII  
CALIDAD DE LOS COMPONENTES BIÓTICOS Y ABIÓTICOS  
SECCIÓN III  
CALIDAD DE COMPONENTES ABIÓTICOS

Art. 208 Componentes abióticos. - Entiéndase a los componentes sin vida que conforman un espacio físico que pueden ser alterados de su estado natural por actividades antrópicas, siendo entre otros: el agua, el suelo, los sedimentos, el aire, los factores climáticos, así como los fenómenos físicos.

PARÁGRAFO I DEL AGUA

Art. 209 De la calidad del agua. - Son las características físicas, químicas y biológicas que establecen la composición del agua y la hacen apta para satisfacer la salud, el bienestar de la población y el equilibrio ecológico. La evaluación y control de la calidad de agua, se la realizará con procedimientos analíticos, muestreos y monitoreos de descargas, vertidos y cuerpos receptores; dichos lineamientos se encuentran detallados en el Anexo I. En cualquier caso, la Autoridad Ambiental Competente, podrá disponer al Sujeto de Control responsable de las descargas y vertidos, que realice muestreos de sus descargas, así como del cuerpo de agua receptor.

Toda actividad antrópica deberá realizar las acciones preventivas necesarias para no alterar y asegurar la calidad y cantidad de agua de las cuencas hídricas, la alteración de la composición físico-química y biológica de fuentes de agua por efecto de descargas y vertidos líquidos o disposición de desechos en general u otras acciones negativas sobre sus componentes, conllevará las sanciones que correspondan a cada caso.

Art. 210 Prohibición. De conformidad con la normativa legal vigente:

- a) Se prohíbe la utilización de agua de cualquier fuente, incluida las subterráneas, con el propósito de diluir los efluentes líquidos no tratados;
- b) Se prohíbe la descarga y vertido que sobrepase los límites permisibles o criterios de calidad correspondientes establecidos en este Libro, en las normas técnicas o anexos de aplicación;
- c) Se prohíbe la descarga y vertidos de aguas servidas o industriales, en quebradas secas o nacimientos de cuerpos hídricos u ojos de agua; y,
- d) Se prohíbe la descarga y vertidos de aguas servidas o industriales, sobre cuerpos hídricos, cuyo caudal mínimo anual no esté en capacidad de soportar la descarga; es decir que, sobrepase la capacidad de carga del cuerpo hídrico. La Autoridad Ambiental Nacional, en coordinación con las autoridades del Agua y agencias de regulación competentes, son quienes establecerán los criterios bajo los cuales se definirá la capacidad de carga de los cuerpos hídricos mencionados.

Art. 211 Tratamiento de aguas residuales urbanas y rurales. - La Autoridad Ambiental Competente en coordinación con la Agencia de Regulación y Control del Agua, verificará el cumplimiento de las normas técnicas en las descargas provenientes de los sistemas de tratamiento implementados por los Gobiernos Autónomos Descentralizados. Las actividades productivas, se sujetarán a lo dispuesto en el presente Libro y a la normativa técnica que para el efecto emita la Autoridad Ambiental Nacional. La gestión y el mantenimiento de sistemas de tratamiento de agua deberán ser monitoreados y evaluados por medio de los mecanismos de control y seguimiento establecidos en este Libro.

#### **2.8.4. Plan Nacional del Buen Vivir**

El plan nacional del buen vivir iniciado en el 2013 y con vigencia hasta el 2017 permite sustentar esta investigación bajo sus objetivos y políticas.

**Objetivo 7:** Garantizar los derechos de la naturaleza y promover la sostenibilidad ambiental, territorial y global.

**Política 7.6:** Gestionar de manera sustentable y participativa el patrimonio hídrico, con enfoque de cuencas y caudales ecológicos para asegurar el derecho humano al agua.

## CAPÍTULO III

### 3. MATERIALES Y MÉTODOS

En este capítulo se mencionan los materiales que se utilizaron en el presente trabajo. De igual manera, se detalló de forma sistemática y simultánea las diferentes etapas del proceso de estudio.

#### 3.1. Materiales

Los materiales que se utilizaron en el desarrollo del presente estudio se los clasificó en: equipos, materiales de campo y materiales de oficina, los cuales se indican en el cuadro 3.1.

**Cuadro 3.1.** Materiales y equipos utilizados

<b>Equipos</b>	<b>Materiales de campo</b>	<b>Materiales de oficina</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>• Molinete electrónico</li><li>• Navegador GPS (Sistema de posicionamiento global)</li><li>• Cámara fotográfica</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Libreta de campo</li><li>• Botas de caucho</li><li>• Poncho de aguas</li><li>• Cartografía base digital del IGM a escala 1:50000</li><li>• Flexómetro de 30 m</li><li>• Vehículo 4x4</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Computador personal</li><li>• Anuarios hidrológicos y meteorológicos del INAMHI</li><li>• Software ARCGIS 10.2</li><li>• Extensión ArcSWAT 2012</li></ul>

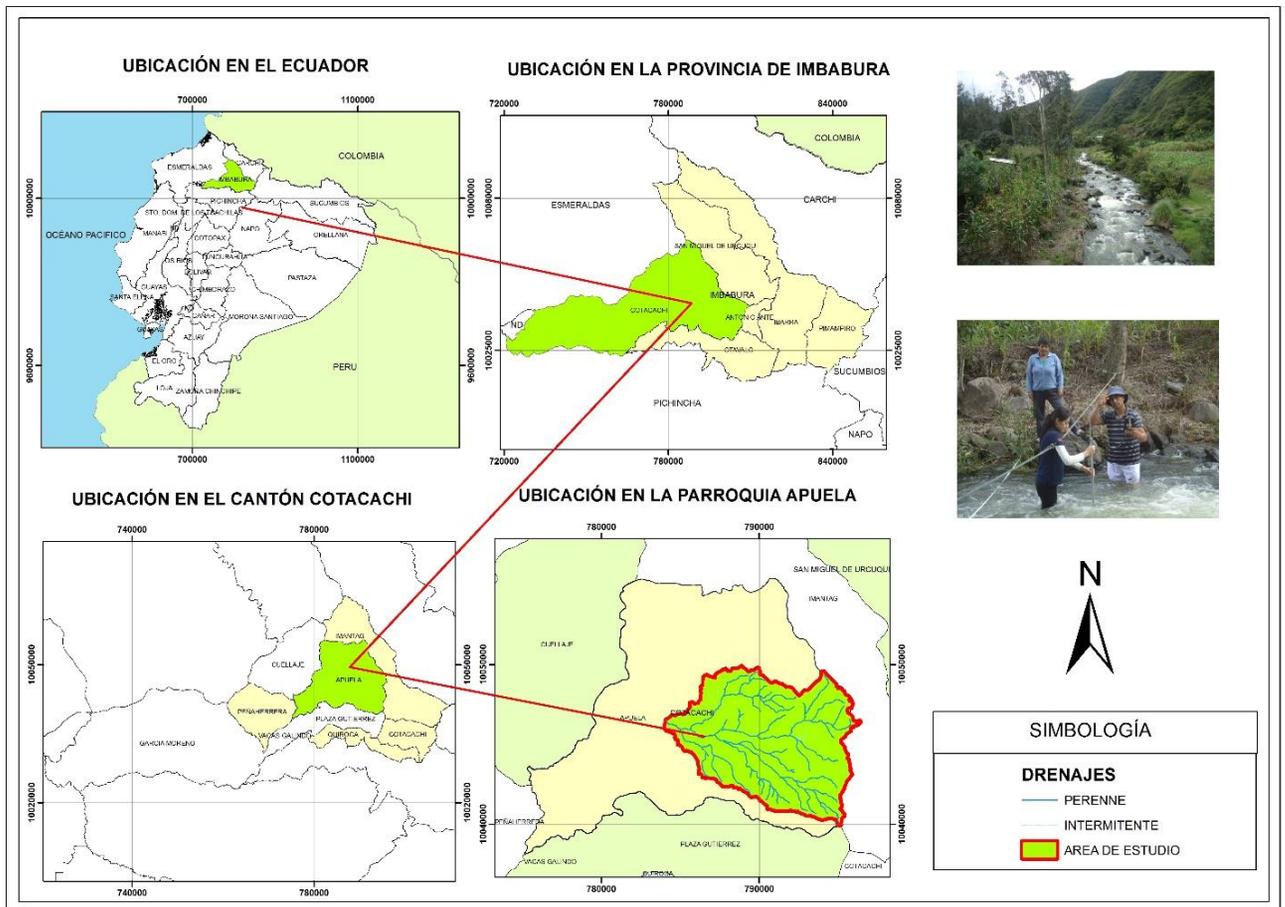
**Elaboración:** La autora

### 3.2. Métodos

Los métodos utilizados en el presente estudio, se trataron tomando en cuenta las características del área al estudio, la problemática existente, los objetivos planteados y la pregunta directriz.

#### 3.2.1. Caracterización del área de estudio

La microcuenca del río Irubí, se ubica en la parte alta de la zona de Intag, se encuentra muy cercana a la Reserva Ecológica Cotacachi Cayapas (RECC); políticamente se encuentra en la provincia de Imbabura, cantón Cotacachi, parroquia Apuela. (Figura 3.1).



**Figura 3.1.** Mapa de ubicación del área de estudio  
**Elaboración:** La autora

La localización geográfica de la microcuenca del río Irubí en coordenadas UTM se muestra en el cuadro 3.2. El área de estudio se encuentra en un rango de altitud de 1 960 msnm en la parte baja y 4 880 msnm en la parte alta; la superficie total del área es de 7 738,61 hectáreas.

**Cuadro 3.2.** Ubicación geográfica del área de estudio, Proyección UTM, Datum WGS 84, Zona 17 Sur.

Punto	Coordenada X	Coordenada Y	Altitud (msnm)
Norte	794064	10049592	3 880
Sur	789008	10042098	3 040
Este	795145	10040959	4 685
Oeste	786003	10045629	2 054

**Elaboración:** La autora

Para caracterizar la microcuenca del río Irubí, se realizaron recorridos de campo y se recolectó información de los componentes principales de estudio que son: aspectos climáticos, hidrológicos y de cobertura vegetal; además de mencionar rápidamente como información adicional algunas características bióticas y socioeconómicas del área de estudio.

#### **1.2.1.1. Aspectos climáticos**

Para caracterizar los aspectos climáticos se incluyó un análisis de los parámetros de temperatura y precipitación de la microcuenca utilizando datos meteorológicos de las estaciones Apuela, Inguincho, y Otavalo que poseen los datos necesarios y se encuentran cerca al área de estudio; estas pertenecen a la base de datos del INAMHI (2013). Además, se realizó una descripción de los tipos de clima presentes en el área de estudio.

#### **1.2.1.2. Aspectos hidrológicos**

Para la caracterización hídrica se utilizó cartografía temática para analizar los drenajes principales y secundarios que conforman la microcuenca, se realizó un análisis general del recurso tomando en cuenta la cantidad de escorrentía superficial para época seca y época lluviosa en base a los datos obtenidos en campo por medio de la medición de caudales. La oferta de agua para consumo fue obtenida tomando la cantidad de agua para las dos épocas seca y lluviosa menos el caudal ecológico que debe tener una fuente hídrica; y para el análisis

de la demanda de agua se lo realizó con la cantidad de agua que consume cada persona por día y el número de habitantes que se abastecen del agua que produce la microcuenca.

### **3.2.1.3. Cobertura vegetal**

La caracterización de la cobertura vegetal se realizó por medio del uso y la cobertura vegetal. Esta información fue obtenida por medio de salidas de campo y uso de cartografía temática adquirida del SNI (2003).

### **3.2.2. Recopilación y digitalización de cartográfica base**

Para adquirir la información cartográfica base se procedió a la recopilación obtenida del Geoportal del Instituto Geográfico Militar (IGM, 2003). Se procedió a analizar la cartografía necesaria para el estudio, tomando en cuenta la información específica que permitió conocer la provisión de servicios ecosistémicos. Para el área de estudio se generó cartografía a escala 1:50.000 empleando las imágenes aerotransportadas del proyecto SIGTIERRAS (2011). La digitalización de la cartografía temática fue realizada empleando el software ArcGIS 10.2, seguidamente se elaboraron composiciones de mapas para ser impresos en formato A3 a escala 1:50.000; el listado de cartografía básica y temática es el siguiente:

1. Mapa de ubicación
2. Mapa base
3. Mapa hidrológico
4. Mapa de tipos de suelo
5. Mapa de Isoyetas
6. Mapa de Isotermas
7. Mapa Tipos de clima
8. Mapa de zonas de vida
9. Mapa de uso actual del suelo (2013)
10. Mapa de cobertura vegetal (2013)
11. Mapa de uso potencial del suelo

### **3.2.3. Aplicación del modelo hidrológico SWAT**

El análisis del comportamiento del agua en el suelo se realizó mediante el cruce de dos coberturas temáticas: uso y cobertura vegetal del año 2013 y el tipo de suelo, para predecir la generación de sedimentos se realizó dicho cruce para obtener las Unidades de Respuesta Hidrológica (Proaño et al, 2006). Los resultados obtenidos permitieron observar cómo afecta el uso del suelo en la cantidad de agua y aporte de sedimentos. Para la ejecución de la herramienta ArcSWAT que permitió el modelamiento de los caudales y arrastre de sedimentos se siguió el siguiente orden:

El primer paso para iniciar con el modelamiento es generar un nuevo proyecto mediante el menú SWAT Project Setup, en esta carpeta se almacenan todos los datos que se crean durante todo el modelamiento estos son documentos de ArcMAP, geodatabases, y un subdirectorío para el almacenamiento temporal de información geográfica y entradas de archivo para SWAT.

El modelo hidrológico permitió la delimitación automática de la microcuenca, este proceso se lo realizó digitando el menú “Automatic Watershed delineator”; se ingresó un DEM (Modelo digital de elevación) en formato raster, el modelo generó automáticamente los drenajes y la delimitación final de las sub-cuencas y sub-drenajes.

#### **3.2.3.1. Ingreso de variables ambientales al modelo SWAT**

Definida la microcuenca el siguiente paso es ingresar las tres principales variables que son uso del suelo, tipos del suelo y pendientes en el comando “HRU Analysis” para obtener las unidades de respuesta hidrológica. También se ingresaron las variables climáticas y datos meteorológicos como: precipitación, temperatura, radiación solar, velocidad del viento y humedad relativa, estos datos sirven para simular el clima.

Tomando en cuenta que el modelo hidrológico fue creado con bases de datos de Estados Unidos, se procedió a la edición de la base de datos acorde a la realidad del área de estudio; las variables que se editaron fueron tipos de suelo y los datos meteorológicos de las estaciones Apuela, Inguincho y Otavalo, mientras que los datos de uso del suelo se aplicaron por defecto.

- **Suelo**

Para editar los datos de tipos y texturas del suelo en ArcSWAT se usó la capa de taxonomía del suelo para determinar las HRU (Unidades de Respuesta Hidrológica) contenidas en la microcuenca en estudio. Una vez obtenida la capa “shapefile” de la taxonomía del suelo, se procedió a interpretar los datos de las HRU, para esto se tomó en consideración los criterios que aplica el Sistema Nacional de Información (SNI, 2013) para la generación de información georreferenciada para el desarrollo sustentable del sector agropecuario, estos se detallan en el cuadro 3.3.

**Cuadro 3.3.** Interpretación de códigos de los parámetros de texturas del suelo

PARÁMETRO	CÓDIGO	RANGO	DESCRIPCIÓN
<b>PENDIENTE (%)</b>	1	0-5	Llano
	2	5-12	Ondulado
	3	12-25	Fuertemente ondulado
	4	12-25 (microrelieve)	Ligeramente montañoso
	5	25-50	Moderadamente montañoso
	6	50-70	Montañoso
	7	>70	Escarpado
<b>TEXTURA</b>	1	Arenoso	Gruesa
	2	Franco arenoso, franco limoso	Moderadamente gruesa
	3	Franco, limoso, fr arcilloso arenoso, fr arcilloso	Media
	4	Franco arcilloso, arcilloso arenoso, arcillo limoso	Fina
	5	Arcilloso	Muy fina
<b>PROFUNDIDAD (cm)</b>	1	0-20	Superficial
	2	20-50	Poco profunda
	3	50-100	Moderadamente profunda
	4	>100	Profunda
<b>PEDREGOSIDAD (%)</b>	1	<10	Sin
	2	10-25	Pocas
	3	25-50	Frecuentes
	4	50-75	Abundantes
	5	>75	Pedregoso o rocoso
	1	A	Excesivo

<b>DRENAJE</b>	2	B	Bueno
	3	C	Moderado
	4	D	Mal drenado
<b>pH</b>	1	<4.5	Muy ácido
	2	4.5-5.5	Ácido
	3	5.6-6.5	Ligeramente ácido
	4	6.6-7.4	Neutro
	5	7.5-8.5	Moderadamente alcalino
	6	>8.5	Alcalino
<b>MATERIA ORGÁNICA (%)</b>	1	<1	Muy bajo
	2	1-2	Bajo
	3	2-4	Medio
	4	4-10	Alto
	5	>10	Muy alto
<b>SALINIDAD (mmhos/cm)</b>	1	0-2	Sin
	2	2-4	Ligera
	3	4-8	Media
	4	8-16	Alta
	5	>16	Muy alta
<b>NIVEL DE FERTILIDAD</b>	1	Mb	Muy baja
	2	B	Baja
	3	M	Mediana
	4	A	Alta

**Fuente:** SNI, 2013  
**Elaboración:** La autora

Tomando en cuenta las consideraciones del cuadro 3.3, se ejecutó la herramienta “Edit SWAT Input” y se seleccionó la opción “Databases” seguidamente se seleccionó la base de datos correspondiente a Suelos y se procedió a editar. Los datos fueron ingresados en los campos correspondientes como se indica en el cuadro 3.4.

**Cuadro 3.4.** Descripción de los campos correspondientes a tipos y texturas del suelo

<b>CAMPO SWAT</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>OBSERVACIONES</b>
<b>SNAM</b>	Corresponde al nombre del suelo.	Nombre de la clasificación taxonómica del suelo por Grangrupo

<b>SOL_ZMX</b>	Es la profundidad máxima de enraizamiento en el perfil de suelo (mm).	Los datos de la profundidad de enraizamiento del perfil del suelo se tomó del mapa de suelos (SNI 2013)
<b>ANION_EXCL</b>	Es una fracción de la porosidad (espacio vacío) donde los aniones son excluidos.	Si no se ingresa un valor para ANION_EXCL, el modelo puede asumir un valor de 0.50.
<b>SOL_CRK</b>	El volumen potencial o volumen máximo de ruptura del perfil del suelo se expresa como una fracción del volumen total de suelo.	Es un dato opcional que puede o no ser ingresado a las características del suelo.
<b>TEXTURE</b>	La textura de la capa de suelo.	Es un dato opcional.
<b>SOL_Z</b>	Es la profundidad desde la superficie del suelo hasta la parte inferior de cada capa (mm).	Tomado de (SIN, 2013).
<b>SOL_BD</b>	La densidad aparente del suelo (Mg/m <sup>3</sup> o g/cm <sup>3</sup> ), expresa la relación de la masa de partículas sólidas respecto al volumen total de suelo, $\rho_b = M_s/V_t$ .	Se procedió a calcularlos utilizando el triángulo textural y la herramienta "Soil Characteristics Tool versión 6.02.70" (Saxton, Keith, & Rauls, 2009).
<b>SOL_AWC</b>	El agua disponible por las plantas, también llamada capacidad de agua disponible AWC.	Se calculó de acuerdo a la clase textural de los suelos presentes, los datos de FC y WP se obtuvieron con la herramienta "Soil Characteristics Tool versión 6.02.70" (Saxton, Keith, & Rauls, 2009).
<b>SOL_K</b>	La conductividad hidráulica saturada (mm/hr), relaciona la proporción del flujo de agua (densidad del fluido) y el gradiente hidráulico. Es una medida de la facilidad del movimiento de agua a través del suelo.	Se procedió a calcularlos utilizando el triángulo textural y la herramienta "Soil Characteristics Tool versión 6.02.70" (Saxton, Keith, & Rauls, 2009).
<b>SOL_CBN</b>	Es el contenido de carbono orgánico (% del peso del suelo) en el suelo.	Se utilizó la siguiente formula: $C. org = \frac{\text{Materia orgánica \%}}{1.724}$
<b>CLAY</b>	Es el contenido de arcilla (% del peso del suelo).	Se procedió a calcularlos utilizando el triángulo textural y la herramienta "Soil Characteristics

		Tool versión 6.02.70” (Saxton, Keith, & Rauls, 2009).
<b>SILT</b>	Es el contenido de limo (% del peso del suelo).	Se procedió a calcularlos utilizando el triángulo textural y la herramienta “Soil Characteristics Tool versión 6.02.70” (Saxton, Keith, & Rauls, 2009).
<b>SAND</b>	Es el contenido de arena (% del peso del suelo).	Se procedió a calcularlos utilizando el triángulo textural y la herramienta “Soil Characteristics Tool versión 6.02.70” (Saxton, Keith, & Rauls, 2009)
<b>ROCK</b>	Es el contenido de fragmento de roca (% del peso total).	Este valor fue tomado de los mapas de suelo (SIN, 2013).
<b>SOL_ALB</b>	El albedo del suelo es la relación de la cantidad de radiación solar reflejada por un cuerpo por la cantidad incidente sobre éste, expresado como una fracción.	(Baumer 1990) propone estimar el albedo en la superficie del suelo en función de la materia orgánica mediante la siguiente ecuación: $A = \frac{0.6}{\exp(0.4 \cdot OM)}$ Donde: A es el albedo del suelo OM es la materia orgánica del suelo (%).
<b>USLE_K</b>	Es el factor K de erodabilidad del suelo de la Ecuación Universal de la Pérdida de Suelo.	Wischmeier et al. (1971) desarrollaron una ecuación general para calcular el factor de erodabilidad del suelo cuando el contenido de limo y arena muy fina llegan a ser menores que el 70 % de la distribución del tamaño de la partícula del suelo. La ecuación es: $K_{USLE} = \frac{0.00021 \cdot M^{1.14} \cdot (12 - OM) + 3.25 \cdot (c_{soilstr})}{100}$ Donde: K <sub>USLE</sub> : es el factor de erodabilidad del suelo. M: es el parámetro del tamaño de las partículas. OM: es el porcentaje de materia orgánica.

		Csoilstr: es el código de la estructura del suelo en la clasificación del suelo. Cperm: es el perfil de las clases de permeabilidad.
<b>SOL_EC</b>	La conductividad eléctrica (ds/m)	No se encuentra actualmente activa.

**Fuente:** USDA, 2005

**Elaboración:** La autora

El modelo SWAT requiere ingresar el Grupo Hidrológico primordial para la simulación correcta de caudales y sedimentos; para esto se asigna el grupo de acuerdo a la metodología del S.C.S (Soil Conservation Service).

Los grupos se asignan de acuerdo a las siguientes características:

- Grupo A: Incluye suelos muy permeables, que presentan escurrimientos mínimos. Son suelos profundos, arenosos, sueltos, con predominio de arena y grava, con muy poca arcilla y limo.
- Grupo B: En este grupo se ubican los suelos arenosos menos profundos y menos permeables que los del grupo A, pero en conjunto con moderada permeabilidad cuando están saturados.
- Grupo C: Se incluyen los suelos poco profundos que presentan permeabilidad al estar saturados, contienen abundante arcilla y coloides.
- Grupo D: Suelos con el máximo escurrimiento superficial, muy permeables. Son suelos arcillosos profundos con una capa de arcilla muy cerca o de la superficie o con un subsuelo muy impermeable cercano a la superficie.

Para definir el grupo hidrológico del suelo se utilizó el Cuadro 3.5.

**Cuadro 3.5.** Grupos hidrológicos

Grupo hidrológico (GH)	Textura		Infiltración
A	Arenoso	arena	Alta
	Arenoso franco		
	Franco arenoso		
B	Franco limoso	+ arena - arcilla	Moderada
	Franco		
	Limoso		
C	Franco arcilloso arenoso	- arena + arcilla	Lenta
	Franco arcilloso limoso		
	Franco arcilloso		
D	Arcilloso arenoso	arcilla	Muy lenta
	Arcilloso limoso		
	Arcilloso		

Fuente: (Tapia, 2012)

- **Clima**

Las variables del clima que el modelo ArcSWAT requirió fueron datos diarios de temperatura del aire máxima y mínima, precipitación, radiación solar, velocidad del viento y humedad relativa. Para el desarrollo del presente estudio se consideraron tres estaciones tomando en cuenta la distancia con respecto a la microcuenca y considerando que tengan datos diarios de las variables requeridas. Las estaciones que se tomaron en cuenta para el estudio fueron: Apuela, Inguincho y Otavalo.

Para ingresar los datos climáticos se procedió de la misma manera que en el ingreso de los datos de suelo. Los parámetros requeridos para generar el clima contienen datos estadísticos necesarios para generar datos climáticos diarios que son representativos para la microcuenca. Las variables ingresadas en los campos de clima, se detallan en el cuadro 3.6.

**Cuadro 3.6.** Descripción de variables ingresadas en SWAT para los campos de clima

Campo swat	Descripción	Observaciones
<b>WLATITUDE</b>	La latitud de la estación a emplear en grados.	Requerida.
<b>WLONGITUD</b>	La longitud de la estación en grados.	Opcional.

<b>WELEV</b>	La elevación de la estación climática en (m).	Requerida.
<b>RAIN_YRS</b>	El número de años máximo para la media hora de lluvia mensual usada para definir los valores de: RAIN_HHMX(1) RAIN_HHMX(12).	Requerida.
<b>TMPMX (mon)</b>	Promedio mensual de la temperatura máxima diaria (°C).	Requerida. Para calcular los valores referidos a la temperatura TMPMX (mon), se los realizo mediante una hoja de cálculo de Excel.
<b>TMPMN (mon)</b>	Promedio mensual de la temperatura mínima diaria (°C).	Requerida. Para calcular los valores referidos a la temperatura TMPMN (mon), se los realizo mediante una hoja de cálculo de Excel.
<b>TMPSTDMX (mon)</b>	Desviación estándar mensual de la temperatura máxima diaria (°C)	Requerida. Para calcular los valores referidos a la temperatura TMPSTDMX (mon), se los realizo mediante una hoja de cálculo de Excel.
<b>TMPSTDMN (mon)</b>	Desviación estándar mensual de la temperatura mínima diaria (°C)	Requerida. Para calcular los valores referidos a la temperatura TMPSTMN (mon) se los realizo mediante una hoja de cálculo de Excel.
<b>PCPMM (mon)</b>	Promedio mensual de la precipitación diaria (mm H2O).	Requerida. Para calcular los valores referidos a la temperatura PCPMM (mon) se los realizo mediante una hoja de cálculo de Excel.
<b>PCPSTD (mon)</b>	Desviación estándar mensual de la precipitación diaria (mm H2O/día).	Requerida. Para calcular los valores referidos a la temperatura PCPSTD (mon) se los realizo mediante una hoja de cálculo de Excel.
<b>PCPSKW (mon)</b>	Coefficiente de asimetría mensual de la precipitación diaria.	Requerida. Para calcular los valores referidos a la temperatura PCPSKW (mon) se los realizo mediante una hoja de cálculo de Excel.
<b>PR_W1 (mon)</b>	Probabilidad mensual de ocurrencia de un día húmedo luego de un día seco (días).	Los valores de PR_W1 (mon), fueron calculados mediante el programa pcpstat.exe de SWAT (Liersch 2003).

<b>PR_W2 (mon)</b>	Probabilidad mensual de ocurrencia de un día húmedo luego de un día húmedo (días).	Los valores de PR_W2 (mon) fueron calculados mediante el programa pcpstat.exe de SWAT (Liersch 2003).
<b>PCPD (mon)</b>	Promedio mensual del número de días de lluvia.	Los valores de PCPD (mon) fueron calculados mediante el programa pcpstat.exe de SWAT (Liersch 2003).
<b>RAINHHMX (mon)</b>	Máxima lluvia de media hora por mes (mmH2O).	Para este parámetro se tomó en cuenta los valores históricos de lluvia máxima para 24 horas.
<b>SOLARAV (mon)</b>	Promedio mensual de la radiación solar diaria (MJ/m2/ día).	<p>Fueron calculados mediante la fórmula de Angstrom que relaciona la radiación solar con la radiación extraterrestre y la duración relativa de la insolación (Allen, et al 2006).</p> $R_s = \left( a_s + b_s \frac{n}{N} \right) R_a$ <p>Donde:</p> <p><math>R_s</math>: radiación solar o de onda corta [<math>\text{MJ m}^{-2} \text{día}^{-1}</math>],</p> <p><math>n</math>: duración real de la insolación [horas],</p> <p><math>N</math>: duración máxima posible de la insolación [horas],</p> <p><math>n/N</math>: duración relativa de la insolación</p> <p><math>R_a</math>: radiación extraterrestre [<math>\text{MJ m}^{-2} \text{día}^{-1}</math>]</p> <p><math>a_s</math>: constante de regresión, que expresa la fracción radiación extraterrestre que llega a la tierra en días muy nublados</p> <p><math>a_s + b_s</math> fracción de la radiación extraterrestre que llega a la tierra en días despejados (<math>n = N</math>).</p> <p>En casos en que no disponga de datos reales de radiación solar y cuando no se han realizado calibraciones previas a la ecuación mencionada, se recomienda usar valores de <math>a_s = 0,25</math> y de <math>b_s = 0,50</math>.</p>

<b>DEWPT (mon)</b>	Promedio mensual de la temperatura del punto de rocío (°C), o la humedad relativa en fracción.	Estos valores fueron tomados del registro histórico para cada estación.
<b>WDAV(mon)</b>	Promedio mensual de la velocidad de viento diaria (m/s).	Estos valores fueron tomados del registro histórico para cada estación.

**Fuente:** USDA, 2005

**Elaboración:** La autora

El menú “Edit SWAT Input” permitió editar las bases de datos del modelo y las bases de datos de los archivos que contienen las entradas de flujo de caudal para el modelo, y determinar las HRU; después de esto se modeló el clima, para ello se utilizaron las estaciones climáticas de influencia en la microcuenca que ya fueron almacenadas en la base de datos del usuario; finalmente se ingresó en el menú “SWAT Simulation” para crear la simulación respectiva para el número de años que sea necesario.

### **3.2.4. Calibración y validación del modelo SWAT**

Para la calibración del modelo SWAT es necesario conocer las condiciones existentes en la microcuenca. En el presente caso de estudio fueron necesarios los datos de caudales medidos en campo en la salida de la microcuenca. La calibración se realizó con el software SWAT CUP (Calibration Uncertainty or Sensitivity Program) que es una interface de ArcSWAT.

La Interface SWAT CUP funciona en base a algoritmos, en este caso se utilizó el SUFI-2 para asistir el análisis de calibración del modelo (Abbaspour, et al, 2004) El algoritmo simula varias combinaciones de parámetros por un número de N veces; Comienza asumiendo una gran incertidumbre y durante la simulación se va ajustando a la realidad de los datos ingresados.

Las variables que se simularon con SWAT-CUP mediante el algoritmo SUFI-2 son:

- ESCO: Factor de compensación por evaporación en el suelo.
- GW\_DELAY: Tiempo de retraso del almacenaje de aguas subterráneas
- ALPHA\_BF: Factor Alfa del flujo base

- GWQMIN: Valor del umbral de profundidad de agua en el acuífero superficial
- GW\_REVAP: Coeficiente REVAP de agua subterránea
- SFTMP: Temperatura de nevadas
- CN2: curva número promedio

Para validar la información del modelo SWAT fue necesario realizar una comparación con los datos obtenidos en campo, esto sirvió para verificar que el modelo es capaz de simular con precisión los diferentes componentes de la microcuenca tanto en época seca como en época lluviosa. En este caso se calculó mediante la fórmula de correlación y regresión lineal en una hoja de Excel para obtener el  $R^2$  que debe acercarse a la unidad para mostrar una mayor efectividad.

#### **3.2.4.1. Medición de caudales con molinete electrónico**

La medición de caudales puntuales del río Irubí fue realizada aforando el río con molinete electrónico de marca Hydrology, dicha medición permitió conocer la variación del caudal principal. Se midió los caudales durante los meses de enero, febrero, marzo, julio, agosto, octubre y diciembre tomando en cuenta las dos épocas, tanto la época seca como la que tiene mayor cantidad de lluvias.

Una vez escogidos los puntos donde se realizó los aforos la medición se hizo de acuerdo al ancho total del río, seguidamente se midió cada 50 cm tomando la profundidad del río y la profundidad media del molinete electrónico con un tiempo de 40 s. esto permitió obtener el número total de revoluciones en cada medición.

Los datos tomados en campo a través del molinete fueron ingresados en la ficha del cuadro 3.7, la cual permite conocer el caudal en metros cúbicos por segundo y litros por segundo de cada sitio aforado, además la velocidad del agua y otras variables importantes para el estudio.



Según la Guía para la Elaboración de Planes de Manejo de Microcuencas (UICN, 2009) es un instrumento de planificación que permite orientar acciones y ayudar a la toma de decisiones que favorezcan el desarrollo integral de la microcuenca, con base en la gestión de recursos naturales y la conservación del ambiente para el bienestar socioeconómico de la población; además contiene los proyectos, los objetivos y las actividades que se propongan para cada uso correcto del agua, esta propuesta se la realizo en el formato para la presentación de perfiles de proyectos (SENPLADES, 2011).

La elaboración de esta propuesta para un uso sustentable del agua fue dirigida hacia las comunidades que se encuentran dentro del área de estudio las cuales se abastecen del recurso, también para las entidades responsables y encargadas de su conservación y control. La propuesta fue elaborada en el siguiente proceso esquemático:

- a) Se definió los datos generales de la propuesta, su cobertura y localización.
- b) Con la caracterización del área levantada en la primera fase del proyecto y los resultados del modelo SWAT utilizado en la investigación se realizó un diagnostico general de los problemas y conflictos actuales en la calidad y cantidad de agua para consumo humano en la microcuenca del rio Irubí.
- c) Por medio de una matriz FODA se analizó las Fortalezas y Oportunidades presentes en la microcuenca para conservarlas como un aporte a la propuesta, de la misma manera se buscó la mejor solución para que las debilidades y amenazas se disipen.
- d) Se identificó a los implicados en el manejo del recurso hídrico, tanto los beneficiarios, como los agentes contaminantes y las entidades responsables y encargadas de su conservación y control.
- e) Se enlisto las estrategias de ejecución que contienen los proyectos que serán elaborados en relación a los impactos negativos ya determinados.

- f) Con el objetivo planteado se definieron las actividades que den soluciones en cada proyecto, considerando medidas de protección, conservación y prevención, que con el apoyo de los beneficiarios y los responsables del cumplimiento puedan ser alcanzados.

## **CAPÍTULO IV**

### **4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

En este capítulo se da a conocer los resultados obtenidos y las principales discusiones desarrolladas en la investigación, los resultados comprenden la caracterización del área de estudio, los resultados al aplicar el modelo hidrológico y finalmente la propuesta de manejo del recurso hídrico.

Al ser la cantidad de agua de consumo humano el tema principal de este estudio se encontró que los servicios ecosistémicos principales en la microcuenca del río Irubí son los servicios de aprovisionamiento, estos son los productos obtenidos del ecosistema para satisfacer las necesidades de la población, según la clasificación realizada por (Millennium Ecosystem Assessment, 2005).

#### **4.1. Caracterización del área**

Una vez identificados los servicios ecosistémicos se realizó la delimitación de las principales características de la microcuenca como son componentes climáticos, hidrológicos y de cobertura vegetal, adicionalmente se generó información general sobre algunos componentes bióticos y socioeconómicos más relevantes dentro del área de estudio.

##### **4.1.1. Aspectos climáticos**

Los factores climáticos que influyen en la microcuenca son la temperatura y la precipitación. Para obtener los datos climáticos de esta zona se trabajó con las estaciones meteorológicas

más cercanas que son la estación de Apuela-Intag (M318), Inguincho (M001) y Otavalo (M105); de la cual se obtuvo los datos mensuales de precipitación y temperatura; se generó un promedio de los últimos 30 años con datos del INAMHI (2013).

En el cuadro 4.1 se muestra los datos de precipitación de la estación M318. Los datos de la estación Apuela-Intag muestran que los meses con mayor precipitación son enero, febrero marzo y abril; y los meses de julio y agosto tienen una mínima cantidad de lluvia.

**Cuadro 4.1.** Precipitación de la estación Apuela-Intag

MES	PRECIPITACIÓN (mm)
ENE	286.48
FEB	287.10
MAR	206.13
ABR	263.48
MAY	70.33
JUN	43.73
JUL	41.35
AGO	6.78
SEP	60.73
OCT	120.57
NOV	44.93
DIC	128.30

Fuente: INAMHI, 2013

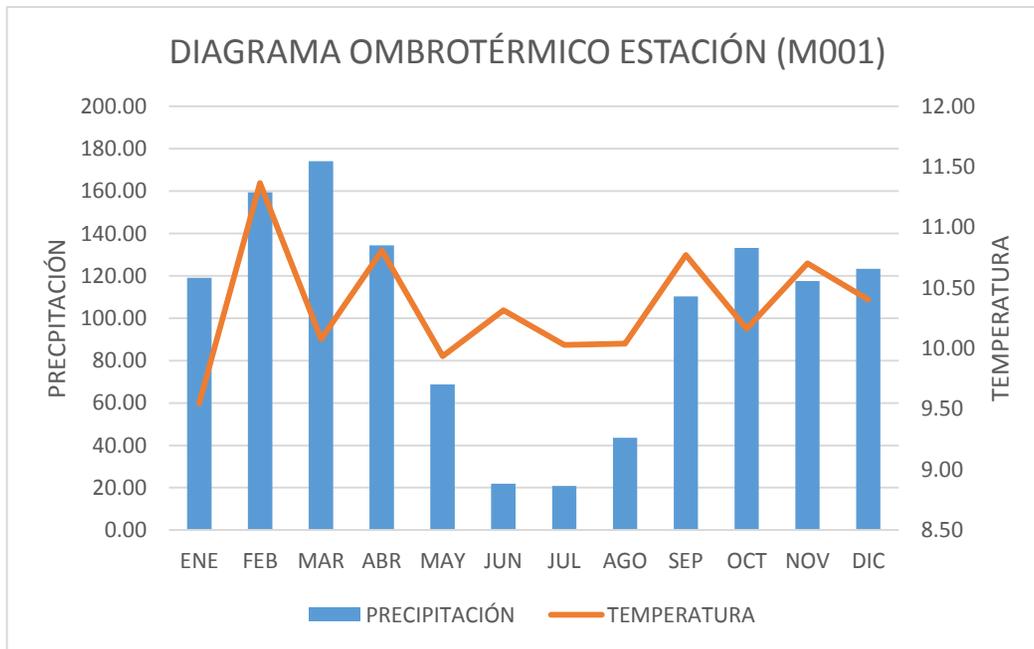
De la estación de Inguincho se obtuvo datos de temperatura y precipitación, y como se indica en el cuadro 4.2, la mayor cantidad de precipitaciones se muestran en los meses de febrero y marzo; mientras que la temperatura más alta se muestra en el mes de febrero.

**Cuadro 4.2.** Datos de temperatura y precipitación de la estación Inguincho.

Mes	Precipitación (mm)	Temperatura (°C)
ENE	119.08	9.55
FEB	159.32	11.37
MAR	174.05	10.08
ABR	134.35	10.81
MAY	68.73	9.94
JUN	21.91	10.32
JUL	20.83	10.03
AGO	43.64	10.04
SEP	110.20	10.77
OCT	133.17	10.16
NOV	117.52	10.70
DIC	123.36	10.40

Fuente: INAMHI, 2013

Con los datos de temperatura y precipitación se elaboró el diagrama ombrotérmico que muestra la variación de temperatura y precipitación tanto para época seca como para época lluviosa. (Figura 4.1)



**Figura 4.1.** Diagrama ombrotérmico estación Inguincho  
Fuente: INAMHI.2013

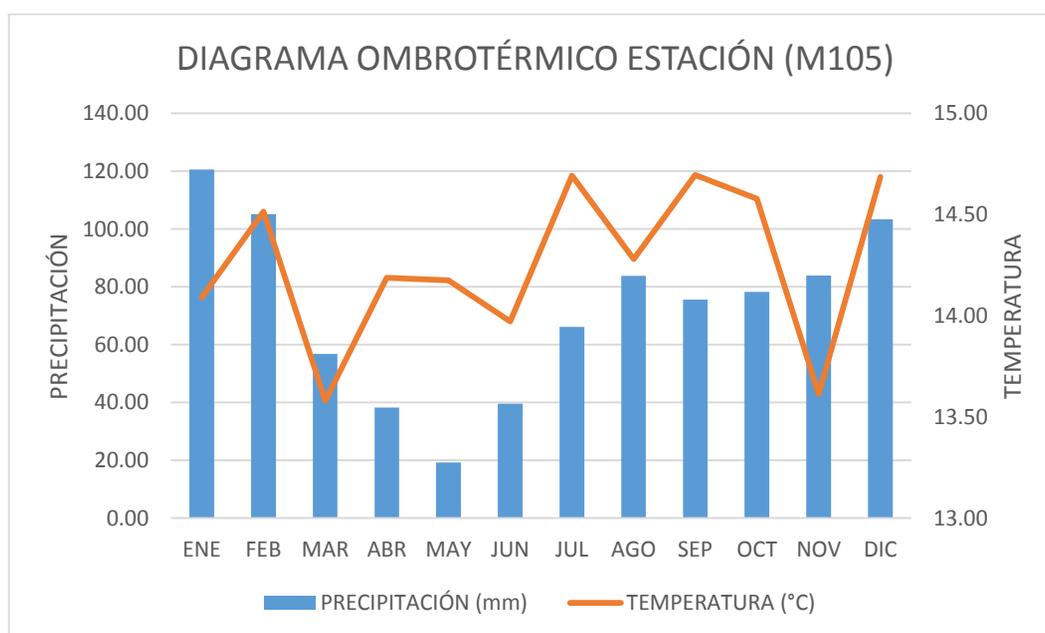
Los datos de temperatura y precipitación de la estación de Otavalo se muestran en el cuadro 4.3 el mismo que muestra datos mensuales de los factores antes mencionados.

**Cuadro 4.3.** Datos de temperatura y precipitación de la estación Otavalo

MES	PRECIPITACIÓN (mm)	TEMPERATURA (°C)
ENE	120.60	14.09
FEB	105.11	14.52
MAR	56.77	13.58
ABR	38.28	14.19
MAY	19.28	14.17
JUN	39.55	13.97
JUL	66.18	14.69
AGO	83.83	14.28
SEP	75.58	14.70
OCT	78.25	14.58
NOV	83.87	13.61
DIC	103.39	14.69

Fuente: INAMHI, 2013

El diagrama ombrotérmico de la estación Otavalo muestra la variación de temperatura y precipitación para época seca como para época lluviosa como se muestra en la figura 4.2.



**Figura 4.2.** Diagrama ombrotérmico estación Otavalo

Fuente: INAMHI.2013

Se encontró dos tipos de clima en el área de estudio, ecuatorial de alta montaña que ocupa un área de 6379.54 hectáreas con un porcentaje de 82.44% y ecuatorial mesotérmico semi-húmedo con un área de 1359.07 con un porcentaje de 17.56% como se indica en el cuadro 4.4.

**Cuadro 4.4.** Tipos de clima

<b>Tipo de clima</b>	<b>Área (has)</b>	<b>Porcentaje</b>
Ecuatorial de alta montaña	6379.54	82.44
Ecuatorial mesotermico semi-humedo	1359.07	17.56
<b>Total</b>	7738.61	100

**Fuente:** Mapa de tipos de clima (SNI, 2013)

**Elaboración:** La autora

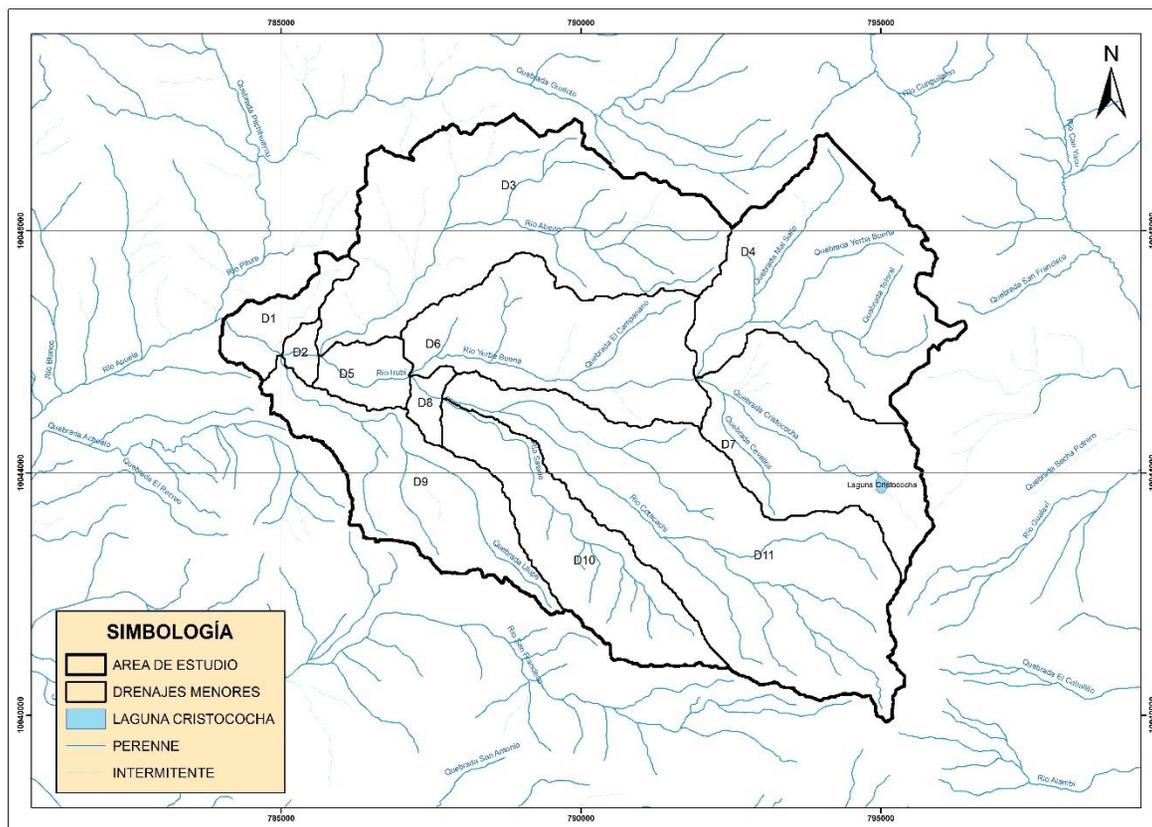
Ecuatorial de alta montaña: se sitúa siempre por encima de los 3.000 m.s.n.m. La altura y la exposición son los factores que condicionan las temperaturas y las lluvias. Las temperaturas medias anuales, aunque muy variables, oscilan casi siempre entre 4 y 8°C. La gama de los totales pluviométricos anuales va de 800 a 2.000 mm y la mayoría de los aguaceros son de larga duración, pero de baja intensidad. La vegetación natural, llamada matorral en el piso más bajo, es reemplazada en el piso inmediatamente superior por un espeso tapiz herbáceo frecuentemente saturado de agua, llamado páramo (Pourrut, Róvere, Romo, & Villacrés, 1992).

Ecuatorial mesotérmico semihúmedo: es el clima más característico de la zona interandina pues, salvo en los valles abrigados y las zonas situadas por encima de los 3.200 m.s.n.m., ocupa la mayor extensión. Las temperaturas medias anuales están comprendidas generalmente entre 12 y 20° C pero pueden en ocasiones ser inferiores en las vertientes menos expuestas al sol. Las precipitaciones anuales fluctúan entre 500 y 2.000 mm La vegetación natural de esta zona ha sido ampliamente sustituida por pastizales y cultivos.

#### **4.1.2. Aspectos Hidrológicos**

La microcuenca del río Irubí forma parte de la cuenca del río Esmeraldas y está conformada por once quebradas y varios drenajes que provienen de la parte alta y del volcán Cotacachi,

uno de los principales es el río Cotacachi y el río Atanto del cual la población se abastece de agua para su consumo. (Figura 4.3).



**Figura 4.3.** Mapa hidrológico de la microcuenca  
**Elaboración:** La autora

La microcuenca del río Irubí en promedio, genera una cantidad de escorrentía superficial de  $2.22 \text{ m}^3/\text{s}$  ( $2226.01 \text{ l/s}$ ) según los aforos realizados en la parte baja del área de estudio. En los afluentes principales se observó que existen varias actividades antrópicas, estas afectan directamente la calidad del recurso, algunas de ellas son la agricultura y la ganadería que se ha extendido en gran magnitud sobre la mayor parte de la microcuenca; además de esto se ha podido observar la deforestación en la zona, esto implica una depreciación de la calidad del agua en términos generales.

Para definir la oferta de agua se debe considerar la época seca y la época lluviosa. Para la época seca se obtuvo un caudal de  $1,58 \text{ m}^3/\text{s}$ ; la microcuenca cuenta con un caudal ecológico

de 1,49 m<sup>3</sup>/s; esto quiere decir que en esta época se puede aprovechar un caudal de 0,079 m<sup>3</sup>/s (6825,6 m<sup>3</sup>/d).

Para la época lluviosa el caudal medio es de 2.48 m<sup>3</sup>/s (214272 m<sup>3</sup>/d), considerando el caudal ecológico antes mencionado, se cuenta con un caudal aprovechable de 0,99 m<sup>3</sup>/s (85536 m<sup>3</sup>/d).

Dentro de la microcuenca se encuentran dos comunidades que son Irubí y Guamirla con un total de 240 personas, cuentan con una red de agua entubada que se distribuye a cada casa. Según la encuesta Nacional de empleo, desempleo y subempleo realizada por el (INEC, 2012) en la provincia de Imbabura cada persona consume diariamente una cantidad de 170 litros de agua; es así que en la microcuenca del río Irubí se consume diariamente la cantidad de 42500 l/día (42,5 m<sup>3</sup>/d).

Para definir la demanda de agua dentro de la microcuenca en época seca se tomó el caudal aprovechable menos el caudal a ser consumido obteniendo un caudal sobrante de 6738,1 m<sup>3</sup>/d. Para la época lluviosa se encontró un excedente de 85493,5 m<sup>3</sup>/d.

#### 4.1.3. Cobertura Vegetal

Con respecto a la cobertura vegetal, el área de estudio está formada por cinco clases que se muestran en el cuadro 4.5. Estas son bosque, tierra agropecuaria, vegetación arbustiva, cuerpos de agua y otras áreas cada una con su respectivo número de hectáreas.

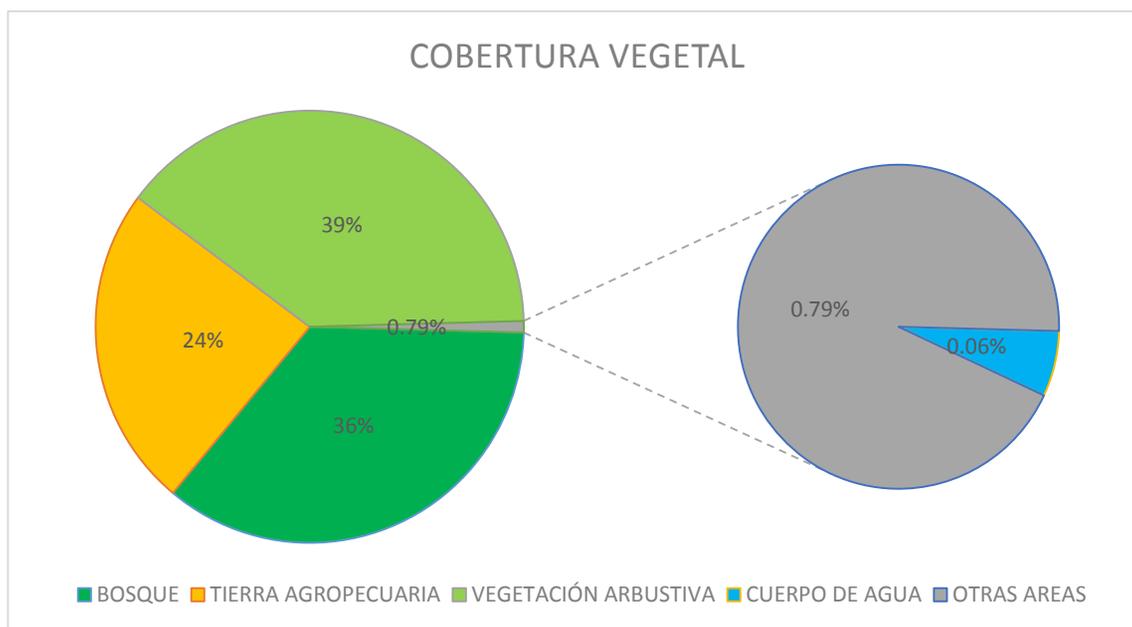
**Cuadro 4.5.** Cobertura vegetal.

<b>Cobertura</b>	<b>Área (has)</b>	<b>Porcentaje (%)</b>
Bosque	2755.55509	35.61
Tierra agropecuaria	1870.32717	24.17
Vegetación arbustiva	3046.97319	39.37
Cuerpo de agua	4.30174	0.06
Otras áreas	61.452803	0.79
<b>Total</b>	<b>7738.61</b>	<b>100</b>

**Fuente:** Mapa de cobertura vegetal (SNI, 2013)

**Elaboración:** La autora

Estas clases de cobertura vegetal se mostraron con los siguientes porcentajes; la mayor cantidad está ocupada por la vegetación arbustiva con el 39% y la menos área es la de cuerpos de agua con un porcentaje de 0.06% como se muestra en la figura 4.4.



**Figura 4.4.** Clasificación de la cobertura vegetal.  
Fuente: SNI, 2013

En el estudio realizado por (Kocian, Batker, & Harrison-Cox, 2011) en la zona de Intag se encontraron ocho clases de cobertura vegetal que son tierras agrícolas, surales, bosques de niebla, páramo, pastizales y agrícolas, ríos y lagos y una cobertura sin datos por la presencia de nubes y en el presente estudio se encontraron las coberturas de bosque, tierra agropecuaria, vegetación arbustiva, cuerpos de agua y otras áreas; teniendo en común tres tipos de cobertura, esto se debe a que el estudio realizado por Kocian utilizó imágenes satelitales mientras que este estudio utilizó información del SNI; además el estudio ecológico de la región de Intag posee un área de mayor extensión en relación a esta investigación.

#### 4.1.4. Cartografía temática

La cartografía temática se muestra en formato A3 en Anexos en el siguiente orden:

- Mapa de ubicación (Mapa N°1)

El área de estudio se encuentra en la zona de Intag, provincia de Imbabura, cantón Cotacachi, en la parroquia de Apuela.

- Mapa base (Mapa N° 2)

El área de estudio tiene un área de 7738,61 has, se encuentra en un rango altitudinal de 1960 a 4880 msnm, tiene dos principales vías de acceso y se encuentran las comunidades de Irubí y Guamirla.

- Mapa hidrológico (Mapa N°3)

El área de estudio cuenta con 11 drenajes menores (quebradas) las cuales son de tipo perennes, esto quiere decir que su flujo de agua es constante independientemente de la época seca o lluviosa. Los nombres y tipos de las quebradas y ríos se encuentran en el cuadro 4.6.

**Cuadro 4.6.** Red hídrica

Nombre	Tipo
Quebrada Ulupe	PERENNE
Quebrada Cristococha	PERENNE
Río Irubí	PERENNE
Quebrada Mal Salto	PERENNE
Río Salado	PERENNE
Río Atanto	PERENNE
Río Yerba Buena	PERENNE
Río Cotacachi	PERENNE
Quebrada El Campanario	PERENNE
Quebrada Totoral	PERENNE
Quebrada Cevallos	PERENNE

**Fuente:** Mapa hidrológico - SNI, 2013

**Elaboración:** La autora

- Mapa de tipos de suelo (Mapa N° 4)

Según la clasificación de suelos del USDA se encontró el Grangrupo Dystrandept perteneciente al orden Inceptisol con un área de 7684.857 hectáreas y un porcentaje de 99,31% además se encontraron cuerpos de agua que ocupan un área de 53,75 has representando el 0,69%. Todos los porcentajes y áreas están representados en el cuadro 4.7.

**Cuadro 4.7.** Tipos de suelo

Orden	Grangrupo	Area (has)	Porcentaje (%)
Hielo	Hielo	53.75	0.69
Inceptisol	Dystrandept	7684.86	99.31
<b>Total</b>		7738.61	100

**Fuente:** Mapa de tipos de suelo SNI, 2013

**Elaboración:** La autora

- Mapa de Isoyetas (Mapa N° 5)

De acuerdo a la distribución de la lluvia en el área de estudio se registraron precipitaciones en la microcuenca que van desde 800 mm a 1300 mm por año, como se muestra en el cuadro 4.8., la isoyeta con un rango de 900-1000 mm cuenta con un área de 3050,98 hectáreas y representa la mayor cantidad con un porcentaje de 39,53% del área de estudio, la isoyeta con rango de 1200-1300 mm cuenta con un área de 96,69 hectáreas y representa la menor cantidad del área de estudio con un porcentaje de 1,25%.

**Cuadro 4.8.** Isoyetas.

Rango	Área (has)	Porcentaje (%)
800-900	1176.44	15.20
900-1000	3058.98	39.53
1000-1100	2600.19	33.60
1100-1200	806.32	10.42
1200-1300	96.69	1.25
<b>Total</b>	7738,61	100

**Fuente:** Mapa de Isoyetas (SNI, 2013)

**Elaboración:** La autora

- Mapa de Isotermas (Mapa N° 6)

Se observó la variación de temperatura que se muestra en el cuadro 4.9. La temperatura tiene un rango de 4 °C a 16 °C. La isoterma con rango 7-8 es la que tiene un área de 1175.9 hectáreas con un porcentaje de 15.20% y la menor la isoterma de 15-16 con un área de 95.9 hectáreas y un porcentaje de 1.24% del área total de la microcuenca.

**Cuadro 4.9.** Isotermas

<b>Rango (°C)</b>	<b>Área (has)</b>	<b>Porcentaje (%)</b>
4-5	149.3	1.93
5-6	115.9	1.50
6-7	636.5	8.22
7-8	1175.9	15.20
8-9	692.8	8.95
9-10	649.5	8.39
10-11	701.3	9.06
11-12	810.9	10.48
12-13	1095.1	14.15
13-14	1102.7	14.25
14-15	512.8	6.63
15-16	95.9	1.24
<b>TOTAL</b>	<b>7738,61</b>	<b>100</b>

**Fuente:** Mapa de isothermas (SNI, 2013)

**Elaboración:** La autora

- Mapa de zonas de vida (Mapa N° 8)

En el área de estudio existen tres zonas de vida como se muestra en el cuadro 4.10. La zona de vida bosque muy húmedo Montano ocupa la mayor área en la zona de estudio con 6558.87 hectáreas lo que representa un 84,91%, seguida por el bosque húmedo montano bajo con un área de 1034.55 hectáreas con un porcentaje de 13.49% mientras que la zona de vida páramo pluvial Sub Alpino ocupa la menor cantidad de área 136.18 hectáreas y un porcentaje de 1.76%.

**Cuadro 4.10.** Zonas de vida

<b>Código</b>	<b>Zona de vida</b>	<b>Área (has)</b>	<b>Porcentaje (%)</b>
b.p.S.A.	BOSQUE PLUVIAL SUB ALPINO	136.18	1.76
b.m.h.M.	BOSQUE MUY HUMEDO MONTANO	6558.87	84.76
b.h.M.B.	BOSQUE HUMEDO MONTANO BAJO	1043.55	13.49
<b>TOTAL</b>		7738.61	100

**Fuente:** Mapa de zonas de vida. (SNI, 2013)

**Elaboración:** La autora

Bosque húmedo Montano: Es una zona ubicada entre los 3.000 y 4000 msnm, con una temperatura que varía entre los 6 y 12 °C. Su vegetación natural ha sido casi eliminada. Existen aún pequeños remanentes de matorrales bajos, con crecimiento de especies forestales.

Bosque muy húmedo Montano: Esta es una zona de vida que está comprendido entre 2.500 y 3.500 msnm, con temperaturas de 6 y 12 °C; la topografía es accidentada. La vegetación natural ha sido eliminada en su mayor parte para dar lugar a grandes extensiones de pastos para ganadería.

Bosque pluvial Sub alpino: Se localiza en las zonas altas de la Reserva, y está ubicado entre los 3.500 y 4.000 m.s.n.m, con una temperatura media anual menor al 4° C. Cubierta básicamente por pajones (Quesada, 2007).

- Mapa de uso actual del suelo 2013 (Mapa N° 9)

En la microcuenca se encontraron diez clases de uso actual del suelo y se encuentran distribuidas dentro del área de estudio con sus respectivas áreas y porcentajes como se muestra en el cuadro 4.11.

**Cuadro 4.11.** Uso actual del suelo.

Uso actual	Área (has)	Porcentaje (%)
Bosque nativo	2755.56	35.60788167
Pastizal	155.82	2.013596046
Vegetación arbustiva	32.23	1.16948883
Páramo	3014.75	38.9572195
Natural	4.30	0.055588019
Area sin cobertura vegetal	61.45	0.794106474
Cultivo semi-permanente	139.84	1.807097166
Otras tierras agrícolas	15.69	0.202802066
Mosaico agropecuario	1535.78	19.84565592
Cultivo anual	23.19	0.299622943
<b>Total</b>	<b>7738.61</b>	<b>100</b>

**Fuente:** Mapa de uso actual del suelo (SNI, 2013)

**Elaboración:** La autora

- Mapa de uso potencial del suelo (Mapa N° 11)

Dentro del área de estudio se encontraron cinco clases de aptitud agrícola y se muestran en el siguiente cuadro 4.12.

**Cuadro 4.12.** Uso potencial del suelo

Aptitud	Área (has)	Porcentaje (%)
Bosque	5682.53	73.43
Cultivos	181.85	2.35
Pastos	1591.54	20.57
Sin uso agropecuario	181.43	2.34
Nieve	101.26	1.31
<b>Total</b>	<b>7738.61</b>	<b>100</b>

**Fuente:** Mapa de uso potencial del suelo (SIN, 2013)

**Elaboración:** La autora

## 4.2. Modelamiento hidrológico SWAT

Para realizar el modelo hidrológico SWAT fue necesario ingresar variables climáticas, parámetros de uso del suelo, texturas del suelo, además permite generar las pendientes que se encuentran dentro del área de estudio. A continuación, se muestran cada uno de los datos ingresados que fueron requeridos por el modelo para una correcta simulación y los resultados obtenidos.

#### **4.2.1. Variables climáticas**

Los datos climáticos ingresados fueron datos promedio de los años 2009-2013, de las estaciones: Apuela-Intag (M318), Inguincho (M001) y Otavalo (M105). Los datos necesarios para la modelación se muestran en orden como fueron ingresados en el cuadro 4.13.

**Cuadro 4.13.** Variables climáticas ingresadas al modelo

		VARIABLES CLIMÁTICAS													
ESTACIÓN	MES	TMPMX	TMPMN	TMPSTDMX	TMPSTD MN	PCPMM	PCPSTD	PCPSKW	PR_W1	PR_W2	PCPD	RAINHHMX	SOLARV	DWPT	WND AV
M318	ENE	21.66	9.75	0.54	0.36	60.59	2.30	1.07	0.03	0.94	5.15	9.10	15.26	12.36	3.60
	FEB	21.20	9.49	0.75	0.64	62.59	3.07	1.19	0.04	0.89	6.83	9.92	13.85	12.19	3.50
	MAR	22.31	10.06	0.74	0.41	40.09	2.06	0.98	0.06	0.84	4.11	6.42	15.10	12.57	4.40
	ABR	22.17	9.87	0.85	0.56	45.53	2.88	1.56	0.03	0.87	5.97	10.80	13.40	12.55	4.50
	MAY	22.65	9.95	0.71	0.59	25.58	2.19	1.74	0.10	0.77	4.00	6.94	14.11	12.60	5.00
	JUN	22.52	10.09	0.57	0.47	12.29	1.34	3.09	0.23	0.37	1.97	6.24	13.85	12.46	5.90
	JUL	22.17	9.80	0.68	0.47	7.91	1.02	3.26	0.19	0.23	2.18	4.80	14.78	12.34	7.30
	AGO	22.61	9.91	0.63	0.33	5.13	0.73	3.33	0.13	0.06	2.25	3.32	15.76	12.30	7.80
	SEP	22.87	9.86	0.81	0.46	12.49	0.78	3.22	0.23	0.20	1.62	1.76	16.88	12.35	7.40
	OCT	22.62	9.63	0.83	0.78	30.27	1.50	1.27	0.06	0.84	3.56	5.90	16.38	12.41	5.50
	NOV	22.12	9.45	0.66	0.47	41.49	2.63	2.02	0.03	0.90	5.62	11.90	16.46	12.59	4.60
DIC	21.27	9.28	0.82	0.51	52.48	3.15	1.32	0.00	0.94	6.99	9.76	15.81	12.30	4.10	
M001	ENE	15.44	6.57	0.47	0.37	52.28	3.30	0.86	0.00	0.95	8.43	13.60	7.18	8.31	4.90
	FEB	14.75	6.62	0.50	0.36	58.11	4.59	0.75	0.00	0.95	10.18	13.10	5.07	8.19	4.80
	MAR	15.55	6.59	0.62	0.35	44.49	3.85	1.42	0.00	0.95	7.18	14.10	6.51	8.32	4.80
	ABR	15.37	6.94	0.70	0.43	77.02	4.57	0.80	0.00	0.95	12.42	17.60	5.74	8.46	4.60
	MAY	15.59	6.72	0.59	0.37	35.99	3.43	1.27	0.03	0.90	6.00	12.80	6.72	8.28	4.70
	JUN	15.42	6.27	0.48	0.39	16.73	1.51	1.65	0.07	0.83	2.99	5.94	7.25	8.04	5.40
	JUL	15.06	5.85	0.50	0.36	18.85	1.99	1.77	0.10	0.71	3.62	7.82	7.86	7.57	6.20
	AGO	15.46	5.62	0.46	0.50	13.22	2.00	2.84	0.19	0.65	2.54	4.88	8.96	7.43	6.50
	SEP	15.66	5.84	0.67	0.43	18.97	3.15	4.24	0.10	0.73	3.65	4.70	9.52	7.39	6.00
	OCT	15.55	6.15	0.80	0.44	39.01	2.83	1.40	0.06	0.87	6.73	12.10	7.35	7.98	5.00
	NOV	15.74	6.23	0.86	0.45	46.19	2.87	0.31	0.03	0.90	7.96	9.48	7.64	8.21	4.60
DIC	15.13	6.57	0.54	0.44	55.70	3.14	0.39	0.00	0.95	8.98	10.10	6.76	8.27	5.00	

<b>M105</b>	ENE	42.99	8.34	0.51	0.73	44.76	4.94	1.57	0.06	0.84	10.29	16.10	15.31	11.11	3.70
	FEB	42.11	8.80	0.80	0.93	65.89	4.84	0.55	0.00	0.95	15.69	19.30	13.92	11.37	3.40
	MAR	43.86	8.55	0.92	0.73	49.28	5.18	0.92	0.03	0.87	11.33	17.00	15.14	11.11	3.30
	ABR	42.97	9.07	1.03	0.92	94.45	8.40	1.49	0.00	0.95	20.98	17.00	13.43	11.8	3.30
	MAY	43.56	8.57	0.82	0.78	54.06	3.44	1.43	0.03	0.90	7.665	15.40	14.14	11.35	3.30
	JUN	43.05	7.81	0.72	1.03	18.26	2.68	2.36	0.10	0.77	4.391	5.28	13.90	10.39	3.80
	JUL	43.55	7.32	0.61	0.86	19.50	2.91	1.91	0.06	0.61	5.909	10.40	14.85	9.648	4.60
	AGO	44.04	6.87	0.98	0.86	15.79	2.25	1.23	0.23	0.39	5.268	6.88	15.76	9.109	4.50
	SEP	45.11	6.74	0.75	0.88	24.18	4.50	3.42	0.17	0.60	6.72	9.40	16.88	9.082	4.10
	OCT	44.76	8.05	0.95	0.98	46.32	4.71	1.50	0.06	0.87	10.65	19.40	16.38	10.76	3.80
	NOV	44.80	8.53	0.78	1.12	61.46	4.91	0.56	0.07	0.83	15.27	19.40	16.53	11.24	3.50
	DIC	43.08	8.87	0.76	0.83	51.12	4.50	1.23	0.00	0.90	11.75	19.60	15.83	11.56	3.60

**Fuente:** INAMHI, 2013

**Elaboración:** La autora

#### 4.2.2. Uso del suelo

El uso de suelo de la microcuenca que se mencionó en la cartografía temática, fue utilizado por el modelo hidrológico el cual aplica varios procesos para reclasificar los diferentes usos como se muestra en el cuadro 4.14.

**Cuadro 4.14.** Uso del suelo reclasificado por SWAT

Uso del suelo (SNI)	Uso del suelo (SWAT)
Bosque nativo	FRSE (Forest Evergreen)
Pastizales	PAST (Pasture)
Vegetación arbustiva	FRST (Forest Mixed)
Páramo	RNGB (Range Brush)
Cuerpos de agua	WATR (Water)
Áreas sin cobertura vegetal	BARR (Barren)
Cultivos semi-permanentes	FPEA (Field Peas)
Otras tierras agrícolas	AGRR (Agricultural land row crops)
Mosaico agropecuario	AGRC (Agricultural lands close grown)
Cultivos anuales	COFF (Coffe)

**Elaboración:** La autora

#### 4.2.3. Texturas del suelo

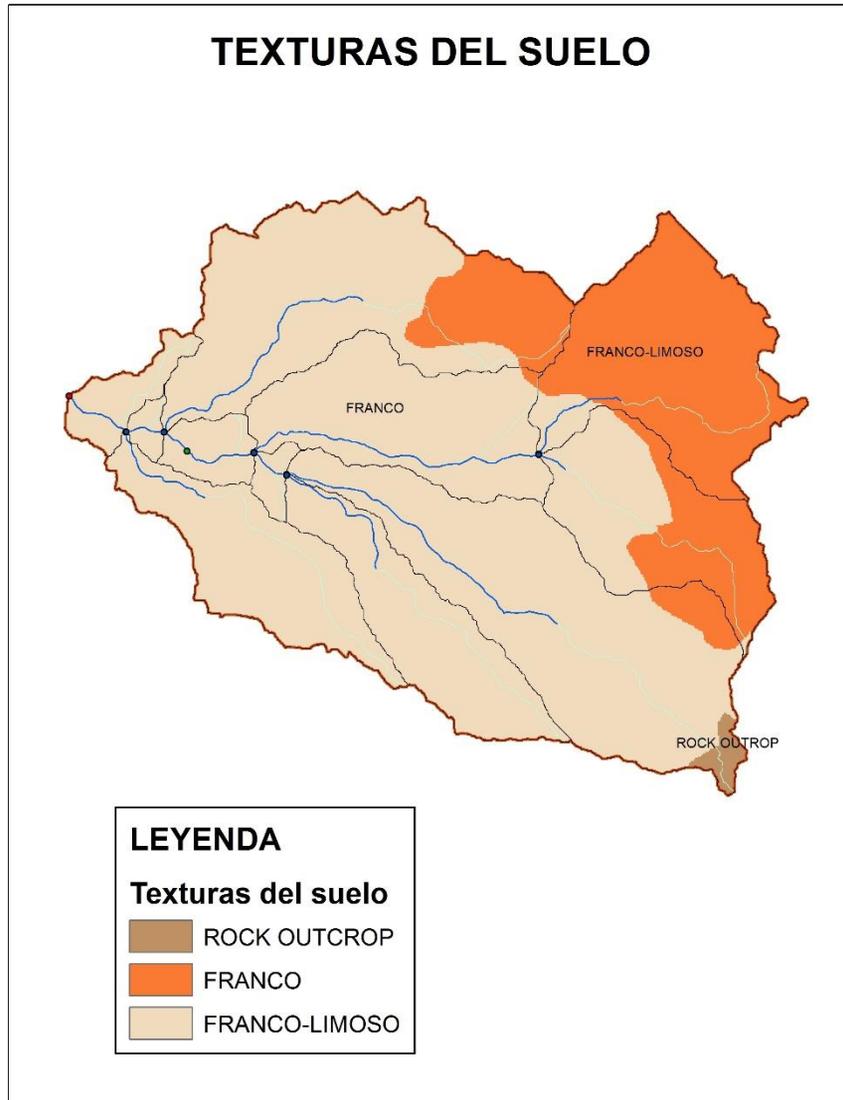
La microcuenca río Irubí además de poseer cuerpos de agua y afloramientos rocosos posee el tipo de suelo Dystrandept y partes de roca. Según las características físicas y químicas del suelo, este tipo de suelo fue clasificados en 3 grupos texturales previamente determinados (ver cuadro 4.15), lo cual fue necesario para ingresar los datos en el formato para SWAT.

**Cuadro 4.15.** Parámetros de suelo ingresadas a SWAT

<b>Parámetros del suelo</b>		
<b>TIPO DE SUELO</b>	Dystrandept	
<b>TEXTURA</b>	Franco	Franco-limoso
<b>HYDGRP</b>	D	C
<b>SOL_ZMX</b>	1000	2000
<b>ANION_EXCL</b>	0.5	0.5
<b>SOL_CRK</b>	0.5	0.5
<b>TEXTURE</b>	Loam	Silty Loam
<b>SOL_Z</b>	750	1000
<b>SOL_BD</b>	1.44	1.37
<b>SOL_AWC</b>	3.2	0.18
<b>SOL_CBN</b>	1.72	1.72
<b>SOL_K</b>	18.6	12.19
<b>CLAY</b>	18	20
<b>SILT</b>	40	60
<b>SAND</b>	42	20
<b>ROCK</b>	10	10
<b>SOL_ALB</b>	0.18	0.18
<b>USLE_K</b>	0.43	0.41

**Elaboración:** La autora

Para las texturas franco y franco-limoso del suelo Dystrandept se ingresó las variables antes indicadas, mientras que para el área ocupada por roca y hielo se utilizó el valor de rock outcrop por defecto. En la figura 4.5 se puede observar la distribución de las texturas en la microcuencia.

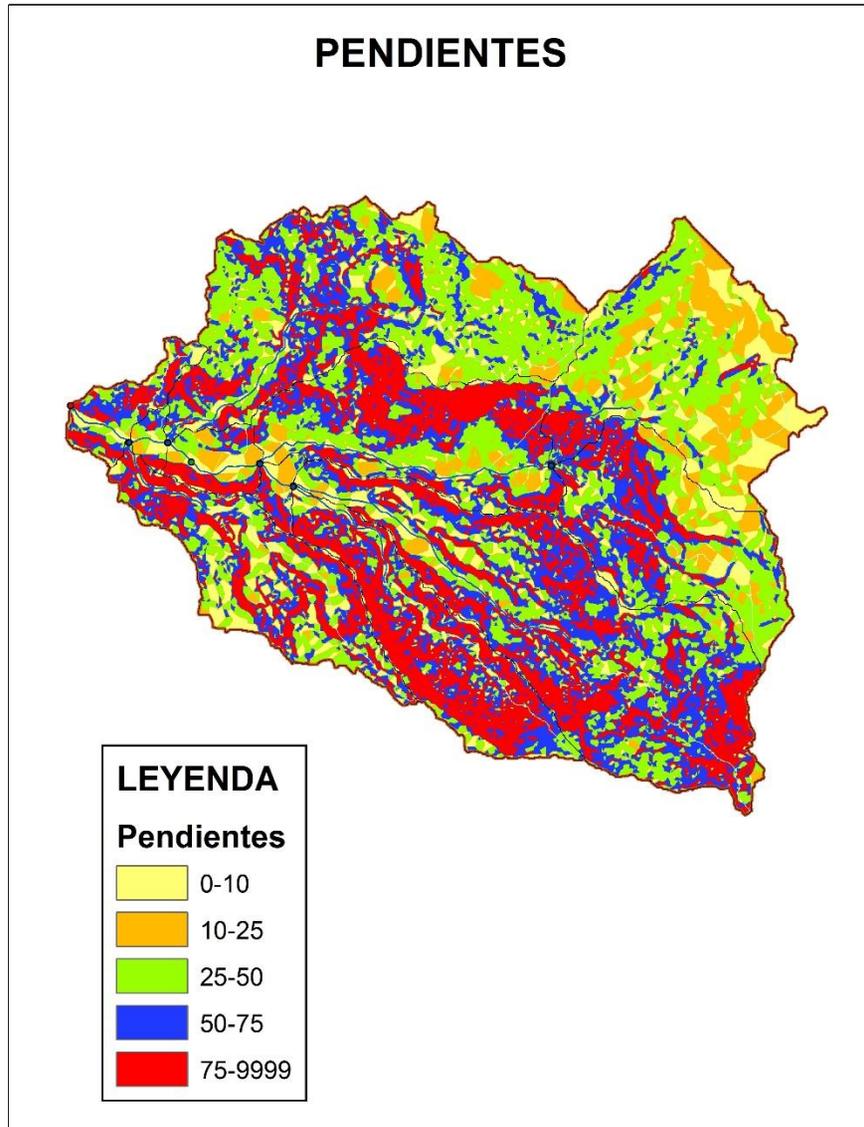


**Figura 4.5.** Textura del suelo clasificado por SWAT periodo 2009-2013  
**Fuente:** SWAT, 2012

El parámetro rock outcrop fue utilizado para el área conformada por roca y hielo que se encuentra en el área perteneciente al volcán Cotacachi; las texturas franco y franco-limoso se encuentran distribuidas en toda el área de estudio.

#### 4.2.4. Pendientes

Se clasificó al territorio según su tipo de pendiente en los siguientes grupos: 0-10%; 10-25%, 25-50%, 50-75% y 75-999% como se indica en la figura 4.6.



**Figura 4.6.** Pendientes generadas por SWAT  
Fuente: SWAT, 2012

#### **4.2.5. Resultados obtenidos mediante SWAT**

Después de la aplicación del modelo se obtuvo los datos mensuales para el periodo 2009-2013 de precipitación (Prec), caudal lateral (LatQ), caudal superficial (SurQ), caudal subterráneos (GwQ), percolación (Perco.), evapotranspiración real (Et.), evapotranspiración potencial (Etp), contenido inicial de agua en el suelo (Swo) y caudal total mensual (Water yield). Inicialmente se verificó si los datos de los caudales totales mensuales eran similares a la sumatoria de los caudales superficiales, laterales y subterráneos, para el periodo de tiempo 2009-2013 (ver cuadro 4.16).

**Cuadro 4.16.** Datos simulados por SWAT

AÑO	MES	PREC (mm)	SURQ (mm)	LATQ (mm)	GWQ (mm)	PERCO LATE (mm)	SW (mm)	ET (mm)	PET (mm)	WATER YIELD (mm)
2009	ENE	154.35	1.64	20.08	0.42	30.64	116.76	22.28	63.65	22.15
	FEB	112.72	4	37.8	24.09	63.78	101.51	30.29	60.39	66.28
	MAR	42.04	0.81	11.11	36.8	15.67	77.24	39.1	91.18	49.6
	ABR	39.85	0.96	7.78	24.3	17.17	52.19	35.73	79.41	33.98
	MAY	9.28	0	4.86	14.98	0	31.44	29.06	97.23	20.78
	JUN	20.72	0	1.83	6.66	0	24.52	25.58	83.37	9.26
	JUL	24.88	0.05	2.91	2.71	0	28.62	17.64	75.45	6.3
	AGO	27.79	0.12	3.6	0.32	0.53	33.47	18.57	89.52	4.51
	SEP	23.61	0.1	3.77	0.62	1.08	31.24	21.15	104.35	4.85
	OCT	16.92	0.22	3.46	1.01	1.96	27.52	15.32	108.37	4.98
	NOV	95.48	0.57	9.7	0.92	8.16	85.64	11.57	73.62	11.4
	DIC	159.34	3.54	33.55	6.14	51.96	120.67	33.4	55.25	43.5
2010	ENE	294.16	10.61	78.93	45.1	174.26	116.09	35.73	46.56	135.62
	FEB	64.09	6.97	22.48	76.79	29.45	98.97	27.22	71.42	108.1
	MAR	4.59	0.01	3.73	62.41	0	60.83	42.08	113.83	68.47
	ABR	123.74	2.71	21.43	33.2	17.34	102.18	39.23	68.2	59.35
	MAY	80.84	1.11	16.21	23.08	17.65	106.61	41.48	58.98	42.26
	JUN	38.15	0.08	6.18	12.47	2.27	92.83	43.95	74.1	20.24
	JUL	36.31	0.32	8.09	8.78	9.7	74.44	37.02	82.55	18.48
	AGO	15.12	0.05	3.24	7.28	3.57	51.73	31.7	92.98	11.62
	SEP	11.39	0	0.94	2.94	0	38.28	23.81	108.93	4.68
	OCT	7.72	0.01	1.3	0.49	0	30.01	14.86	109.3	2.43
	NOV	0	0	0.01	0.06	0	23.27	6.77	96	0.53
	DIC	181.11	2.02	27.85	0.59	24.36	116.41	28.63	64.13	30.83
2011	ENE	25.25	0.68	10.94	7.32	10.87	94.7	28.37	88.44	19.37
	FEB	117.34	4.95	15.62	11.03	35.98	120.74	24.75	64.27	32
	MAR	62.17	1.24	24.38	20.46	24.6	89.76	52.46	88.44	46.88
	ABR	318.02	20.38	65.59	34.83	155.29	118.83	34.12	46.62	121.84
	MAY	33.31	0.02	20.13	73.29	7.17	88.83	50.64	76.11	95.41
	JUN	19.84	0	2.41	47.89	0	65.8	40.63	85.62	52.32
	JUL	12.07	0.02	1.62	23.1	0	45.63	30.73	90.64	26.53
	AGO	7.2	0	0.36	3.89	0	32	20.42	94.22	5.65
	SEP	31.59	0.22	4.81	0.21	0.22	37.16	21.14	99.45	6.27
	OCT	9.65	0.03	1.58	0.07	0	28.79	16.57	113.46	2.48
	NOV	27.76	0	1	0.01	0	44.62	7.68	96.72	1.58
	DIC	60.47	0.3	10.22	0.02	0.15	71.57	23.87	83.5	10.98
	ENE	216.93	3.96	46.73	8.94	87.7	110.67	37.73	63.55	60.12
	FEB	107.34	5.2	28.06	37.23	51.12	106.73	29.28	64.55	71.45
	MAR	4.93	0.03	2.26	41.55	0	66.31	44.57	111.51	45.21

2012	ABR	34.76	1.1	7.79	22.92	9.78	52.24	29.69	75.96	33.06
	MAY	55.97	0.03	6.81	11.13	0	58.25	41.87	84.94	19.09
	JUN	23.37	0.03	4.05	2.66	0	46.09	32.59	84.07	7.6
	JUL	32.62	0.14	4.76	0.36	1.68	44.5	27.53	89.25	5.95
	AGO	11.56	0	1.42	0.8	0	35.22	19.46	110.95	2.75
	SEP	21.69	0.13	3.84	0.37	0.28	33.15	20.05	106.88	4.72
	OCT	56.51	0.2	8.26	0.43	2.11	57.1	21.06	87.12	9.19
	NOV	89.44	1.29	9.41	0.95	10.64	94.35	23.84	77.78	11.86
	DIC	139.43	4.18	32.83	7.32	42.84	119.07	38.76	64.83	44.66
2013	ENE	13.99	0.24	6.51	16.59	2.62	94.24	33.02	96.59	23.9
	FEB	41.74	2.29	10.67	13.88	19.2	83.89	18.93	71.2	27.41
	MAR	192.85	6.36	33.85	18.39	74.38	119.58	32.4	50.96	59.34
	ABR	49.94	3.19	23.6	35.9	21.96	80.09	50.66	81.05	63.79
	MAY	120.68	2.96	25.8	35.51	30.39	98.55	42.42	70.18	65.61
	JUN	33.42	0.05	5.39	26.95	0.49	85.08	42.08	81.04	33.72
	JUL	13.65	0.04	3.04	12.6	1.48	55.83	39.31	100.76	16.87
	AGO	28.01	0.24	3.8	4.94	1.11	53.21	25.07	90.74	9.93
	SEP	107.17	4.62	24.42	6.22	44.56	55.36	28.06	88.86	36.03
	OCT	0	0	3.68	18.31	0	40.58	14.82	101.78	22.89
	NOV	13.99	0.07	2.16	11.72	0	37.86	14.46	96.16	14.73
	DIC	94.66	0.51	13.58	5.71	1.17	87.71	28.47	82.6	20.46

**Elaboración:** La autora

Después de mostrar todos los datos simulados por el modelo SWAT se procedió analizar dos parámetros a los que se dio mayor prioridad por su importancia dentro del estudio, estos son caudales y la producción de sedimentos.

#### 4.2.5.1. Caudales

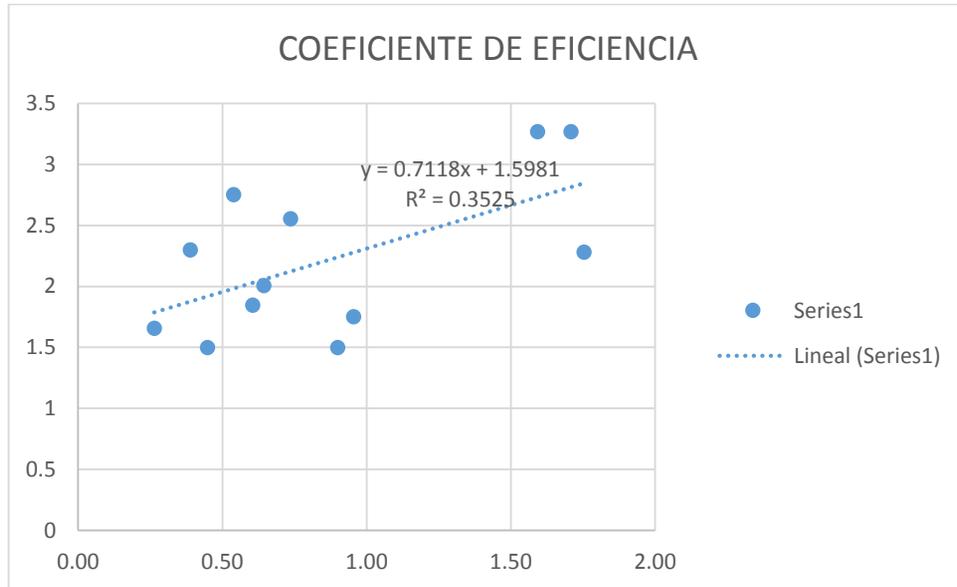
La cantidad de caudal es un servicio ecosistémico de aprovisionamiento y al ser el tema principal la cantidad de agua para consumo humano en el presente trabajo se enfocó en profundizar el análisis del parámetro (Water yield) o caudal; este parámetro se lo simuló para el periodo 2009-2013 como se lo mostró anteriormente en mm. En el cuadro 4.17 se puede observar los caudales ya transformados a m<sup>3</sup>/s.

**Cuadro 4.17.** Caudales simulados por SWAT en m<sup>3</sup>/s

MES	2009	2010	2011	2012	2013
ENE	0.64	3.94	0.55	1.66	0.64
FEB	2.12	3.13	0.90	1.97	0.74
MAR	1.43	1.98	1.32	1.24	1.59
ABR	1.01	1.71	3.43	0.91	1.71
MAY	0.60	1.22	2.68	0.52	1.75
JUN	0.28	0.58	1.47	0.21	0.90
JUL	0.18	0.53	0.74	0.16	0.45
AGO	0.13	0.33	0.16	0.07	0.26
SEP	0.14	0.13	0.17	0.13	0.96
OCT	0.14	0.07	0.07	0.25	0.61
NOV	0.34	0.02	0.04	0.32	0.39
DIC	1.26	0.87	0.30	1.21	0.54

**Elaboración:** La autora

Los modelos hidrológicos están sujetos a errores, los cuales pueden ser aleatorios o sistemáticos, y que los análisis de la media, desviación estándar y coeficiente de determinación no son suficientes para poder detectarlos (Aitken, 1973). Para definir la eficiencia del modelo se utilizó la fórmula de regresión y correlación  $R^2$  que muestra que tan eficaces pueden llegar a ser los resultados de un modelamiento. Después de aplicar el análisis de correlación, entre los caudales simulados y observados, se obtuvo un  $R^2=0.35$  con lo cual se encuentra que no existe una correlación suficiente entre los caudales observados y caudales simulados (ver figura 4.7).



**Figura 4.7.** Coeficiente de eficiencia de caudales simulados por SWAT  
**Elaboración:** La autora

Autores como (Galván, et al, 2007) sostienen que el modelo SWAT constituye una buena herramienta para representar registros históricos de caudal y simular resultados, aunque lógicamente la exactitud dependerá de la calidad de la información de ingreso. En el presente estudio se tuvo un limitado acceso a información sobre todo climática, ya que el modelo requiere que por lo menos una estación meteorológica se encuentre dentro del área de estudio, en este caso ninguna de las estaciones cumple con este requerimiento, es por esta razón que la eficiencia del modelo sin calibración fue baja, dando un  $R^2 = 0.35$ ; por lo tanto, este estudio está de acuerdo con la afirmación realizada por Galván.

Para (Wagener, Wheeler, & Gupta, 2004) la calibración de un modelo como SWAT consiste en lograr un ajuste satisfactorio entre los datos observados y simulados, mediante el cambio de los parámetros de mayor influencia; mientras que la validación consiste en medir la capacidad predictiva del modelo mediante la comparación de caudales calculados y observados para un período determinado. Tomando en cuenta lo que sostienen los autores antes mencionados se procedió a realizar la calibración y validación del modelo a través de los escurrimientos medidos in situ; los mismos que se registraron por medio de aforos en el área de estudio, dicha calibración ayudó a mejorar el ajuste de los datos simulados y se aproximaron a la realidad de la microcuenca.

La calibración se realizó utilizando la interface SWAT-CUP, se ejecutaron 100 simulaciones de las cuales la que se ajustó a la realidad fue la simulación número 18. Luego de reemplazar los datos iniciales de SWAT por los datos calibrados se obtuvo los resultados en ( $\text{m}^3/\text{s}$ ) que se muestran a continuación en el cuadro 4.18.

**Cuadro 4.18.** Caudales calibrados en  $\text{m}^3/\text{s}$

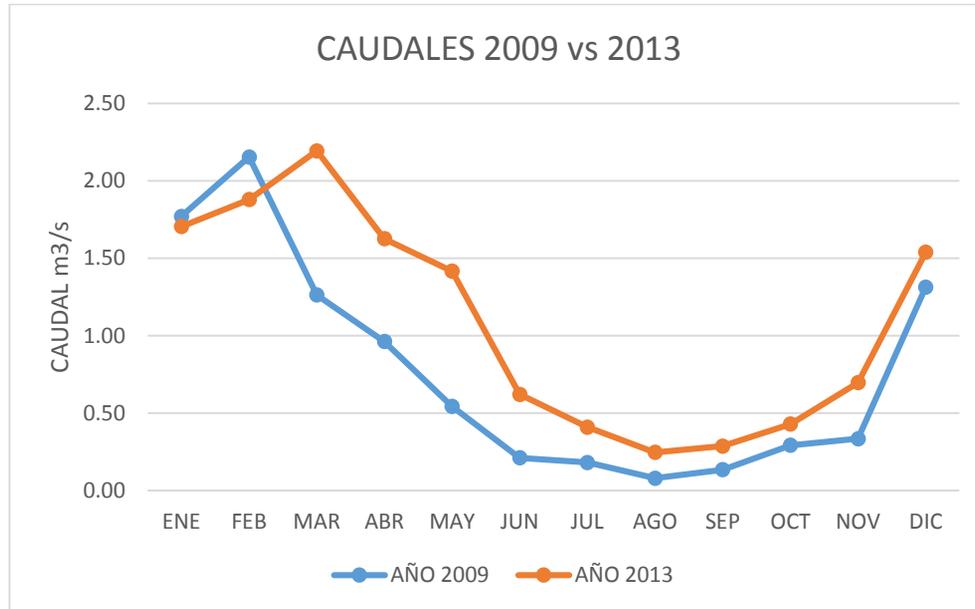
MES	2009	2010	2011	2012	2013
ENE	1.77	0.69	0.47	2.25	1.70
FEB	2.15	0.80	1.98	2.12	1.88
MAR	1.26	1.72	3.08	2.30	2.19
ABR	0.96	1.85	2.34	1.51	1.63
MAY	0.54	1.89	2.21	1.28	1.42
JUN	0.21	0.97	0.92	0.44	0.62
JUL	0.18	0.48	0.43	0.25	0.41
AGO	0.08	0.28	0.12	0.14	0.25
SEP	0.14	1.03	0.06	0.13	0.29
OCT	0.29	0.65	0.51	0.10	0.43
NOV	0.33	0.42	0.65	1.70	0.70
DIC	1.31	0.58	1.66	1.39	1.54

**Fuente:** SWAT, 2012

**Elaboración:** La autora

Una vez obtenidos los datos de caudales ya calibrados, se procedió a analizar las variaciones y cambios que ha existido para los diferentes años de estudio. Poniendo énfasis en la pregunta de investigación planteada en este estudio, el análisis se enfocó en los años 2009 y 2013. En la figura 4.8 se puede observar que los servicios ecosistémicos hídricos simulados por el modelo son diferentes en el año 2009 que en promedio mostró un caudal total de  $0.77 \text{ m}^3/\text{s}$  en comparación con el año 2013 que mostró un caudal promedio de  $1.09 \text{ m}^3/\text{s}$ .

La diferenciación en los caudales simulados por el modelo para los años antes mencionados se da, porque al momento de realizar la calibración se utilizó datos reales, obtenidos mediante aforos en el área de estudio, estos caudales reales fueron tomados en el año 2014, es por esta razón que los caudales simulados para el año 2013 son mayores y se encuentran más cercanos a la realidad a comparación con los resultados del año 2009 ya que tiene mayores años de diferencia. Además, se puede señalar que en cortos periodos de tiempo de simulación el caudal tiende a subir.



**Figura 4.8.** Comparación de caudales para los años 2009 y 2013  
**Elaboración:** La autora

Para realizar la validación del modelo se procedió a utilizar los datos de aforos realizados en campo para ser comparados con los datos simulados y definir qué tan correlacionados se encuentran. Para definir los caudales de la microcuenca realizó la medición de caudales de los meses de enero, febrero, marzo, julio agosto, octubre y diciembre y se obtuvo los siguientes resultados en m<sup>3</sup>/s (Cuadro 4.19).

**Cuadro 4.19.** Caudales medidos

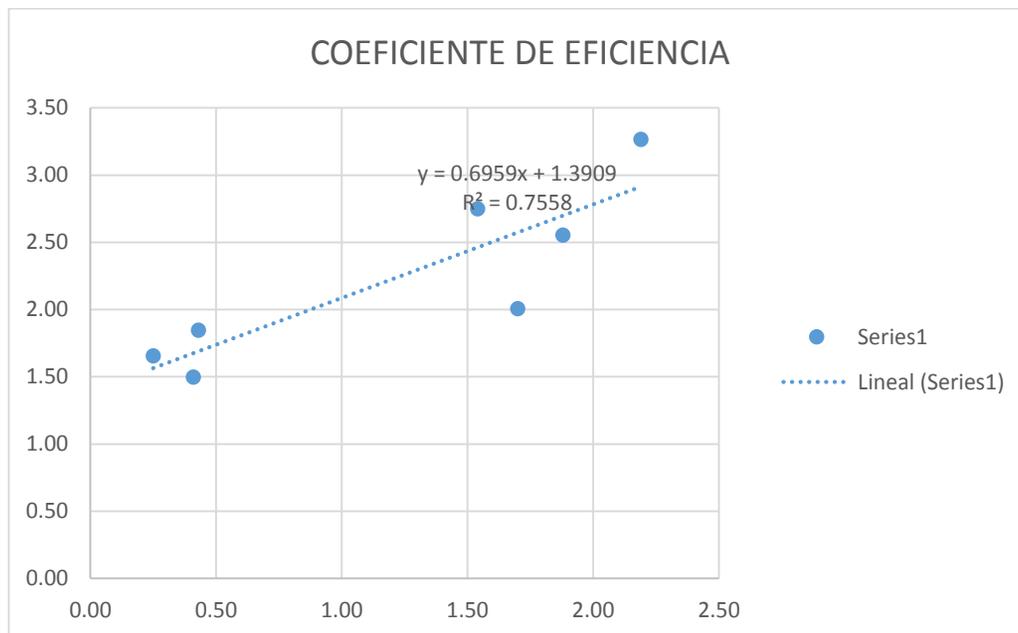
MES	CANTIDAD	
	m <sup>3</sup> /s	l/s
Enero	2.007158	2007.16
Febrero	2.555561	2555.56
Marzo	3.267669	3267.67
Julio	1.497296	1497.30
Agosto	1.656990	1656.99
Octubre	1.846177	1846.18
Diciembre	2.751246	2571.25

**Elaboración:** La autora

Para la época seca se realizó las mediciones en los meses de julio y agosto obteniendo un caudal de 1.49 m<sup>3</sup>/s y 1.65 m<sup>3</sup>/s respectivamente con una velocidad media de 0.50 m/s para el mes de julio y 0.60 m/s en el mes de agosto.

Para la época con mayor cantidad de lluvia se tomó los meses de octubre, diciembre, enero, febrero y marzo; y se pudo observar que los meses con mayor caudal son marzo con una cantidad de 3.26 m<sup>3</sup>/s seguido de diciembre con un caudal de 2.75 m<sup>3</sup>/s con una velocidad media de 0.62 m/s y 0.69 m/s respectivamente.

Después de obtener los datos aforados con ayuda de molinete electrónico se procedió de la misma manera que con los resultados obtenidos por el modelo sin calibración, se realizó el análisis de eficiencia de los caudales ya calibrados y se obtuvo un  $R^2 = 0.75$  como indica la figura 4.9; lo que mostró que los resultados del modelo mejoran considerablemente después de aplicar el método de calibración.



**Figura 4.9.** Coeficiente de eficiencia de caudales calibrados.

Según (Torres, et al; 2004) si los resultados de un modelo son altamente correlacionados con los tomados en campo el coeficiente de eficiencia será estadísticamente cercano a la unidad, este estudio obtuvo un valor de coeficiente de eficiencia de 0,75; estando de acuerdo en la validación del modelo como lo menciona el autor anteriormente citado. La modelación realizada presenta un valor de eficiencia aceptable más no perfecto, después de realizar el proceso de calibración y validación; esto muestra una leve subestimación de caudales.

La subestimación de caudales se presenta en varios estudios de escorrentía. (Torres, Mejía, Cortés, Palacios, & Exebio, 2005) realizaron el estudio de la cuenca del río Laja, el modelo SWAT subestimó los valores de escurrimiento durante los procesos de calibración y validación respecto a los valores medidos, estos autores, afirmaron que la causa de baja estimación se debió al número de estaciones, la ubicación y la interpolación que realiza el modelo de las mismas. En la microcuenca del río Irubí se utilizaron únicamente 3 estaciones de las cuales ninguna se encuentra dentro del área de estudio; y en el proceso de calibración y validación si se obtuvo un caudal aceptable. Por lo tanto, se puede señalar que las afirmaciones de Torres y demás autores sobre la subestimación de caudales, no se debe a la cantidad, distribución e interpolación de las estaciones, ya que al ser 12 las estaciones utilizadas y a la vez encontrarse dentro de la cuenca, la interpolación que realiza el modelo hidrológico debió ser más exacta. Otros autores como (Imbach, et al, 2010) señalan que en modelos a escalas utilizados en regiones tropicales, expresan una subestimación de los caudales de aproximadamente 20% y puede estar asociada a la variación de las áreas montañosas; el modelo SWAT fue elaborado para simular en zonas de llanura, es por esta razón que puede existir subestimaciones, ya que el estudio realizado en la microcuenca del río Irubí como el realizado en Mesoamerica poseen altas pendientes; estando de acuerdo con Imbach y otros.

#### **4.2.5.2. Producción de sedimentos**

En la microcuenca del río Irubí se pudo observar los siguientes resultados en la producción de sedimentos. En el cuadro 4.20 se observa el aporte de sedimentos en la microcuenca en t/has. Los meses con mayor cantidad de sedimentos son enero, febrero, marzo y abril; mientras que los meses de junio, julio, agosto y octubre muestran una producción baja; esto se debe a la variación en la cantidad de lluvias dentro de la microcuenca.

**Cuadro 4.20.** Producción de sedimentos.

Mes	Sedimentos (t/has)
Ene	1.02
Feb	2.39
Mar	2.74
Abr	3.53
May	0.81
Jun	0
Jul	0.01
Ago	0.01
Sep	1.51
Oct	0.01
Nov	0.04
Dic	0.12

**Fuente:** SWAT, 2012

**Elaboración:** La autora

La microcuenca del río Irubí, en promedio genera un total de 0.99 t/has según la modelación realizada por SWAT. La FAO ha definido criterios para la valoración de los riesgos de erosión y se indican en el cuadro 4.21.

**Cuadro 4.21.** Criterios para la valoración de los riesgos de erosión

Clase	Riesgos de erosión	Riesgo de erosión actual t/ha
1	Baja	0-12
2	Moderada	12-24
3	Alta	24-50
4	Muy alta	>50

**Fuente:** (FAO , 1985)

Analizando dichos criterios se determinó que la microcuenca del río Irubí muestra una erosión ecológica normal, ya que se encuentra en el rango de 0-12 con un riesgo de erosión bajo.

### **4.3. Propuesta de manejo del recurso hídrico para la microcuenca del río Irubí**

Una vez obtenidos los resultados de la caracterización del área de estudio y la aplicación del modelo SWAT, se ha determinado las estrategias para el correcto desarrollo sostenible del

agua dentro de la microcuenca. Se elaboró una propuesta de manejo en la que presenta diferentes proyectos enfocados a solucionar problemas y aprovechar adecuadamente los recursos hídricos del área.

Actualmente la legislación que rige el país según el Texto Unificado de Legislación Secundaria de Medio Ambiente, pretende que toda actividad antrópica deberá realizar las acciones preventivas necesarias para no alterar y asegurar la calidad y cantidad de agua de las cuencas hídricas, la alteración de la composición físico-química y biológica de fuentes de agua por efecto de descargas y vertidos líquidos o disposición de desechos en general u otras acciones negativas sobre sus componente; por esta razón se ha planteado una propuesta de manejo con el fin de favorecer a las sociedad y que cumple con las políticas del Plan Nacional del Buen Vivir 2013- 2017.

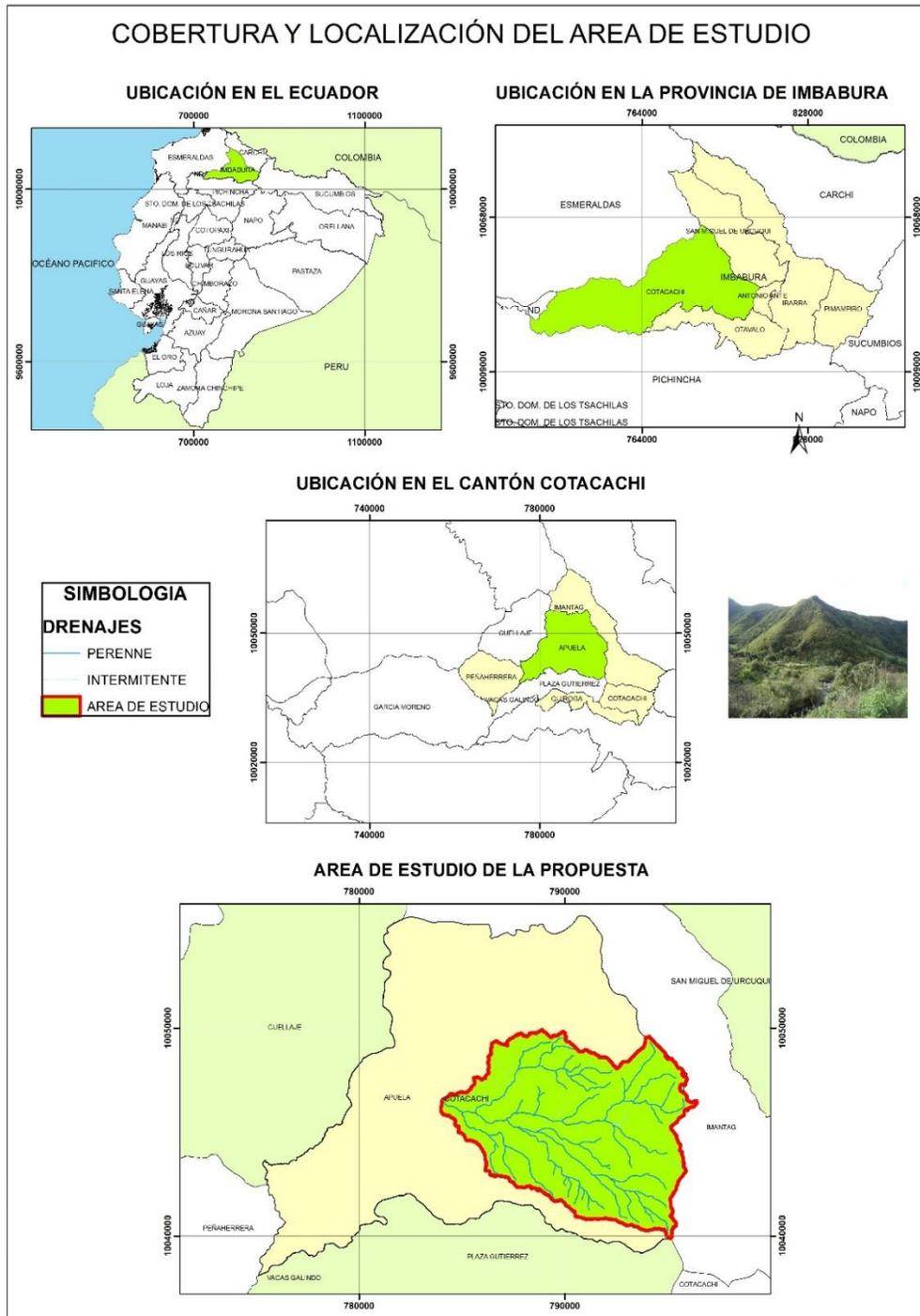
Esta propuesta de manejo servirá principalmente a los habitantes de la comunidad Irubí y a las autoridades del GAD parroquial de Apuela ya que contarán con información necesaria para poder gestionar el recurso hídrico que es de suma importancia para los pobladores.

#### **4.3.1. Datos generales de la propuesta**

A continuación, se detallan los datos generales de la propuesta de manejo del recurso hídrico de la microcuenca del río Irubí.

##### **4.3.1.1. Cobertura y localización**

El área de estudio se encuentra ubicada en la provincia de Imbabura, cantón Cotacachi, parroquia Apuela; como se muestra en la siguiente figura 4.10.



**Figura 4.10.** Ubicación del área donde se efectuará la propuesta.  
Elaboración: La autora

### 4.3.2. Diagnóstico y problema

A continuación, se menciona la situación actual del área de estudio y sus diferentes problemas.

#### **4.3.2.1. Descripción de la situación actual del área**

La mayor parte de la microcuenca del río Irubí ha sido intervenida para diferentes actividades como agricultura y ganadería, por esta razón la vegetación nativa fue desplazada por cultivos anuales, de ciclo corto y pastizales generando un cambio en la cobertura vegetal y a su vez alterando el ciclo hidrológico. Estas actividades son beneficiosas económicamente para la comunidad, por lo cual la conservación de flora y fauna de la zona no es una prioridad; por estas razones es necesario proteger y conservar los recursos naturales indispensables para la producción de agua.

#### **4.3.2.2. Identificación, descripción y diagnóstico del problema**

Tomando en cuenta los resultados de la caracterización del área y el modelamiento hidrológico se ha podido observar que en la parte alta se encuentran un conflicto referente a la pérdida de cobertura vegetal debido a la deforestación existente en la zona y a las actividades antrópicas causantes del avance de la frontera agrícola; así también se pudo observar que en la parte media y baja se refleja un conflicto importante ya que como muestra la medición de caudales y el modelamiento hidrológico en época seca, el caudal disminuye notoriamente, además se observa un arrastre de sedimentos; en el área de estudio se encontró que las viviendas aportan al caudal con aguas residuales domésticas y también existe la escorrentía de los lavados de los suelos con el agua del río, esto representa la necesidad urgente del ordenamiento y manejo del recurso hídrico.

Algunos de los problemas encontrados dentro del área de estudio se indican a continuación:

- Bajo nivel de tecnificación en las tomas de agua
- Falta de interés en temas de conservación
- Carencia de estrategias estatales para el desarrollo del agua de consumo
- Limitaciones institucionales
- Dificultades organizativas en la administración de los sistemas de juntas de agua
- Mal manejo por parte de los agricultores de los productos químicos como fertilizantes y herbicida

- Disminución de caudal en época seca
- Arrastre de sedimentos

#### **4.3.2.3. Matriz FODA**

En esta etapa del procedimiento para iniciar una propuesta de manejo la utilización de los elementos nos permite realizar el análisis FODA, donde se estima superar las debilidades que no deben disiparse, afianzando las oportunidades. De igual manera, las amenazas se pueden contrarrestar con las fortalezas identificadas en el área de estudio. Este análisis ha permitido generar las destrezas que ayudaron a construir los lineamientos estratégicos para la elaboración de la propuesta de manejo (ver cuadro 4.22).

**Cuadro 4.22. Matriz FODA**

Fortalezas	Oportunidades	Debilidades	Amenazas
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Existe una Junta de Agua con estructura organizada, manejada por un presidente y sus beneficiarios directos.</li> <li>• Los usuarios conocen la fuente de captación del agua para su consumo.</li> <li>• La microcuenca cuenta con gran cantidad de bosque con un área de 2755.5 hectáreas y 3046.9 hectáreas de vegetación arbustiva dentro de su cobertura vegetal.</li> <li>• El modelo SWAT simuló una gran cantidad de producción de agua para consumo humano.</li> <li>• En época seca existe un caudal excedente de 6738,1 m<sup>3</sup>/d. y para la época lluviosa se encontró un excedente de 85493,5 m<sup>3</sup>/d. que puede ser aprovechado.</li> <li>• Riesgo de erosión bajo 0.99t/has.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Las diferentes entidades como MAE, y GADs municipales y parroquiales pueden brindar capacitaciones en base a la información generada por el proyecto V5E para la conservación del ecosistema.</li> <li>• Existe un excedente de agua en época seca y lluviosa el cual puede ser utilizado en proyectos de agua potable y riego.</li> <li>• La parte alta de la microcuenca se encuentra dentro de la Reserva Ecológica Cotacachi Cayapas (RECC) destinada a protección y conservación.</li> <li>• Existen áreas no aptas para actividades antrópicas donde se puede permitir procesos de regeneración natural.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Inexistencia de control contra explotación de madera.</li> <li>• Desconocimiento de la ley orgánica del recurso hídrico por parte de la población.</li> <li>• En las poblaciones de la microcuenca existe escasa conciencia ambiental.</li> <li>• La población no cuenta con sistemas de agua potable.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• El área de estudio forma parte de la zona en donde existe una tasa de deforestación de 7574.8 has/año.</li> <li>• La ganadería se expande por la mayoría de los afluentes de agua.</li> <li>• La población de la microcuenca está utilizando las altas pendientes para realizar actividades agrícolas.</li> <li>• Las poblaciones dedicadas a la agricultura están empezando a utilizar productos agroquímicos los cuales afectan al ecosistema.</li> <li>• Existe gran cantidad de áreas quemadas.</li> </ul>

**Elaboración:** La autora

Una vez obtenidas las Fortalezas, Oportunidades, Debilidades y amenazas se procedió a realizar un análisis de cada una de ellas para definir las estrategias en las cuales se debe enfocar la propuesta de manejo.

**Fortalezas:** La microcuenca del río Irubí se encuentra en un buen estado de conservación al poseer grandes porcentajes de bosque nativo y vegetación arbustiva, de igual manera el modelo SWAT demostró que el área posee una alta producción de caudal aprovechable sobre todo en época lluviosa; en este caso se debe afianzar la protección de estos dos recursos prioritarios y aprovechar la organización de la junta de agua existente en la microcuenca.

**Oportunidades:** Tomando en cuenta los aspectos positivos que se tiene dentro del área de estudio como el excedente en la producción de agua, la existencia de áreas aptas para regeneración natural y áreas que forman parte de la REEC; se puede involucrar a las diferentes entidades como MAE, y GADs municipales y parroquiales para brindar capacitaciones y elaborar proyectos.

**Debilidades:** El desconocimiento de las leyes y la falta de conciencia ambiental han llevado a la población a tener un mal uso de los recursos naturales.

**Amenazas:** La deforestación, el avance de las actividades agrícolas y ganaderas hacia áreas de altas pendientes y en áreas cercanas a los afluentes de agua están afectando ambientalmente a la microcuenca

Después de realizar el análisis de la matriz FODA se determinó dos estrategias de manejo que permiten neutralizar los aspectos negativos (Debilidades y Amenazas) y conservar los positivos (Fortalezas y Oportunidades). Las estrategias son las siguientes:

Estrategia 1: Prevención y mitigación

Estrategia 2: Educación ambiental

#### 4.3.2.4. Identificación y análisis de involucrados

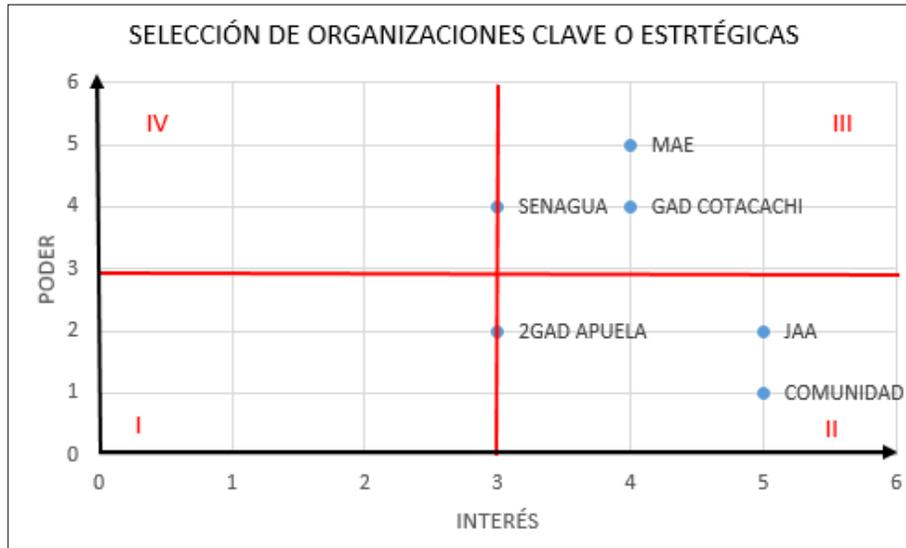
Para la identificación y análisis de los involucrados se ha tomado en cuenta el interés y el poder priorizado de cada organización como indica el cuadro 4.23.

**Cuadro 4.23.** Análisis de involucrados

Ítem	Organización	Interés		Poder	
		Descripción	Puntuación/5	Descripción	Puntuación/5
1	Comunidad	Agua de consumo	5	Grupo interesado	1
2	Junta administradora de Agua	Mejoramiento organizativo y estructural	5	Autonomía de gestión Grupo organizado	2
3	GAD Parroquial Apuela	Incentivar el desarrollo de actividades comunitarias, preservación de la biodiversidad y la protección del ambiente	3	Coordinación con los demás GAD Autonomía financiera Gestión en toda la parroquia de Apuela.	3
4	GAD Municipal Cotacachi	Aplicar la propuesta de manejo	3	Gestión en todo el cantón Cotacachi Crear ordenanzas Partidas presupuestarias	4
5	SENAGUA	Protección de fuentes hídricas y manejo adecuado del agua	3	Gestión de los recursos hídricos. Gestión a nivel nacional	4
6	MAE	Conservación del ecosistema. Uso sustentable de los recursos naturales estratégicos para alcanzar el buen vivir.	4	Gestión a nivel nacional Rectoría de la gestión ambiental.	5

**Elaboración:** La autora

Se determina a los involucrados que se va a considerar con mayor prioridad en el proyecto (cuadrante III) como muestra la figura 4.11.



**Figura 4.11.** Determinación de involucrados estratégicos: “Poder Vs. Interés”  
**Elaboración:** La autora

Como se observa en el cuadrante tres, los actores estratégicos para la posible ejecución de la propuesta son el Ministerio del Ambiente y el GAD Municipal de Cotacachi.

### 4.3.3. Objetivos de la propuesta

A continuación, se detalla los objetivos con los cuales se desarrollará esta propuesta.

#### 4.3.3.1. Objetivo general

Elaborar la propuesta de manejo del recurso hídrico de la microcuenca del río Irubí que contenga estrategias, proyectos y actividades; para que aporten al mejoramiento, conservación y aprovechamiento del agua.

#### 4.3.3.2. Objetivos específicos

- Establecer estrategias para la conservación de caudales dentro de la microcuenca.
- Conseguir que la población adquiera conocimientos sobre protección del medio ambiente y la importancia de la conservación del mismo.

- Describir proyectos y actividades que aporten a la prevención, mitigación, protección y conservación del agua.

#### **4.3.4. Estrategias de ejecución**

En el siguiente cuadro 4.24, se enumera las estrategias, proyectos y actividades con las que se desarrolló la propuesta, de acuerdo al análisis FODA anteriormente realizado. Seguidamente se procede a describir detalladamente cada una de ellas.

**Cuadro 4.24.** Cuadro de estrategias, proyectos y actividades

Estrategias	Proyectos	Actividades	Normativa Vigente
Estrategia 1: Prevención y mitigación.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Proyecto de recuperación de espacios degradados.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Forestación y reforestación.</li> <li>Protección de espacios en proceso de regeneración.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Plan Nacional Forestal 2012.</li> <li>Acuerdo ministerial O65 del Ministerio del Ambiente.</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Proyecto de Conservación de la cobertura vegetal</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Protección de áreas en buen estado de conservación.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Constitución Política del Ecuador.</li> <li>Objetivo 7 del Plan Nacional del Buen Vivir.</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Proyecto de uso y aprovechamiento adecuado del agua.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Protección física del área de las fuentes principales de abastecimiento de agua.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ley orgánica de recursos hídricos, usos y aprovechamiento del agua</li> <li>Reforma del Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria de Medio Ambiente</li> </ul>
Estrategia 2: Educación ambiental.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Proyecto de Señalización de la fuente de captación de agua de consumo.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Obtención de señalización</li> <li>Señalizar las áreas prioritarias de donde se obtiene el agua para consumo humano.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Artículo 12 de la Ley orgánica de recursos hídricos, usos y aprovechamiento del agua</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Proyecto de buenas prácticas ambientales.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Talleres de capacitación.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Art. 209 de la Reforma del Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria de Medio Ambiente</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Proyecto de socialización de la propuesta de manejo del recurso Hídrico.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Taller de socialización de propuesta de manejo del recurso hídrico.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Constitución Política de la República del Ecuador</li> </ul>

**Elaboración:** La autora

#### **4.3.4.1. Estrategia 1: Prevención y mitigación.**

Después de realizar el análisis FODA y conocer los aspectos relevantes que presenta el área de estudio, mediante la caracterización del área y los resultados del modelamiento hidrológico, se ha determinado una estrategia prioritaria de mitigación y prevención de impactos que se encuentran amenazando con disiparse dentro de la microcuenca; es por esta razón, que esta estrategia está encaminada a proponer proyectos que favorezcan y mejoren la situación actual de los recursos naturales generadores de los servicios ecosistémicos de los cuales la población se abastece.

**Meta:** Prevenir y disminuir los efectos negativos por causa de malas prácticas ambientales, ejecutar obras, actividades o medidas dirigidas a moderar y atenuar los impactos perjudiciales sobre el entorno humano y natural.

##### **•Proyecto 1: Proyecto de recuperación de espacios degradados.**

Este proyecto tiene como finalidad plantar especie nativas de la microcuenca en zonas de importancia hídrica y proteger aquellos espacios que ya se encuentran en proceso de regeneración. Esta medida está encaminada a recuperar las áreas que han sido intervenidas por los moradores del área, quienes buscaban cultivar la tierra cerca de la fuente hídrica y alimentar sus animales en zonas con altas pendientes. Aplicando la normativa vigente del Plan Nacional Forestal 2012, y el Acuerdo ministerial 065 del Ministerio del Ambiente se procedió a realizar las actividades que se detallan a continuación.

**Beneficiarios:** Según la identificación y análisis de involucrados los beneficiarios son la comunidad de Irubí y la Junta administradora de agua como organización.

##### **a) Actividad 1: Forestación y reforestación.**

La plantación de especies nativas se puede realizar en aquellos espacios que han sido intervenidos por la población para realizar actividades antrópicas, como laderas y lugares con grandes pendientes, por medio de la modalidad de cercas vivas y árboles en linderos; así

como también aquellas áreas cercanas a los afluentes principales de agua para consumo y riveras de ríos y quebradas. El área total encontrada apta para esta actividad es de 108.3 has, que se encuentran distribuidas en gran parte de la microcuenca como indica la figura 4.13. Para esta actividad se debe realizar las siguientes sub-actividades:

1. Seleccionar y obtener las especies que se encuentran dentro del área de estudio. Las especies elegidas para el enriquecimiento de las áreas de importancia son las que se muestran en el cuadro 4.25, cada hectárea contendrá un total máximo de 130 plántulas.

**Cuadro 4.25.** Especies nativas por hectárea

Nombre común	Nombre científico	Cantidad
Yalomán	<i>Delostoma integrifolium</i>	25
Aliso	<i>Alnus acuminata</i>	30
Arrayán	<i>Mircyanthes sp</i>	20
Guaba	<i>Inga edulis</i>	25
Guarango	<i>Caesalpinia spinosa</i>	30
<b>Total</b>		130

**Elaboración:** La autora

2. Realizar el hoyado con las siguientes dimensiones: 30cm de largo x 30cm de ancho.
3. Plantar las especies nativas con distanciamientos de 3m e intercalando.
4. Realizar la limpieza y coronamiento a cada árbol plantado, dos veces al año.
5. El mantenimiento se debe realizar por un periodo de tres años, hasta que la planta tenga las condiciones necesarias para sobrevivir y desarrollarse.

**Entidad responsable:** Ministerio del Ambiente

**b) Actividad 2. Protección de espacios en proceso de regeneración.**

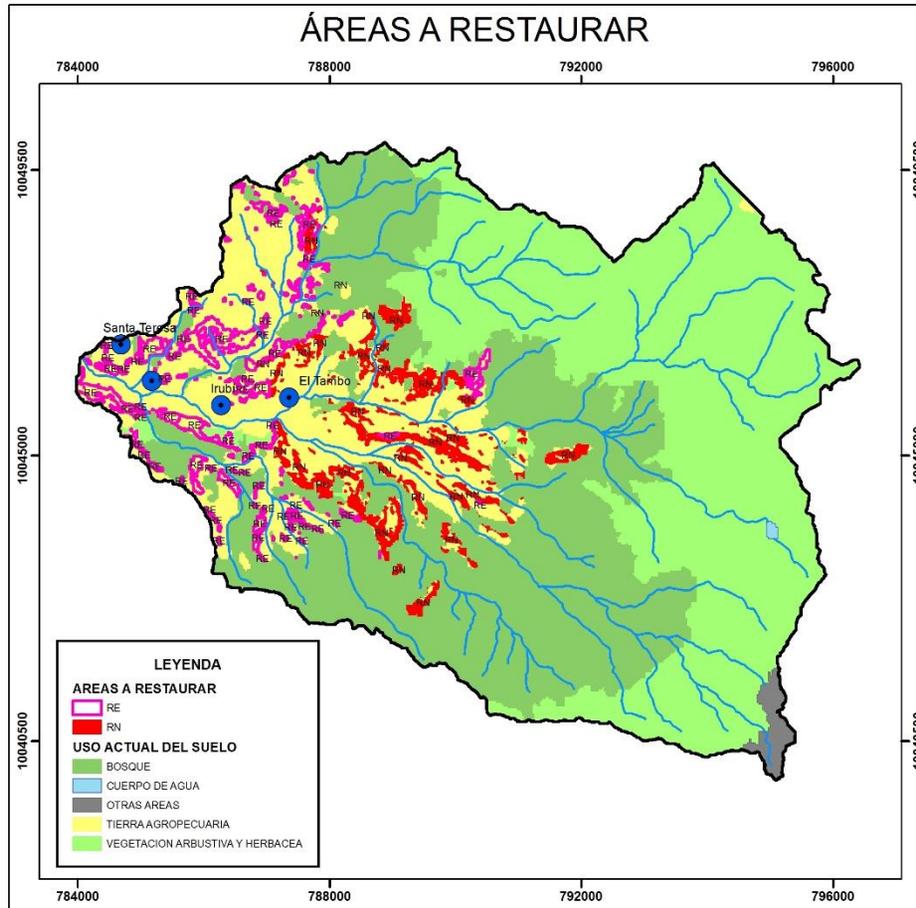
En la microcuenca existen áreas que se encuentran en proceso de regeneración natural (figura 4.12); por lo tanto, se pretende colaborar con este proceso mediante la protección de dichas áreas con sub-actividades de señalización y monitoreo constante. Mediante el uso de

cartografía temática y los resultados del modelo hidrológico se obtuvo un total de 246.35 hectáreas, que se encuentran en procesos de regeneración natural.



**Figura 4.12.** Áreas en proceso de regeneración

La señalización debe ser ubicada en cada una de las áreas que se muestra en la figura 4.13 y el monitoreo debe ser constante para observar como se va dando el proceso de regeneración y evitar la quema de dichas áreas; el mismo que será realizado por los miembros de la junta de agua de Irubí.



**Figura 4.13.** Áreas destinadas al proyecto de Restauración ecológica.

**Fuente:** ArcSWAT, 2012 y Mapa de cobertura vegetal del año 2013

**Elaboración:** La autora

**Entidad responsable:** Ministerio del Ambiente

- **Proyecto 2: Proyecto de conservación de la cobertura vegetal**

Este proyecto está encaminado al análisis de la situación actual de la microcuenca con respecto a la cobertura y uso del suelo para así poder definir las acciones pertinentes para la conservación y protección de los bosques y paramos, tan indispensables para la generación de servicios ecosistémicos como el agua de consumo. La conservación de la cobertura vegetal está basada en cumplir con los derechos de la naturaleza de la Constitución Política del Ecuador y el Objetivo 7 del Plan Nacional del Buen Vivir.

**Beneficiarios:** Según la identificación y análisis de involucrados los beneficiarios son la comunidad de Irubí y la Junta administradora de agua como organización.

**a) Actividad 1: Protección de áreas en buen estado de conservación.**

Mediante la realización de la cartografía temática se ha determinado que la microcuenca posee una cantidad de 2755.5 hectáreas de bosque y 3046.9 hectáreas de vegetación arbustiva; dentro de las cuales se encuentra incluida el área de páramos, prioritarios para la producción de agua. Es por esta razón que se pretende proteger y conservar dichas áreas mediante medidas como señalización y monitoreo constante; estas actividades pueden ser realizadas por parte de las autoridades encargadas de la Reserva Ecológica Cotacachi-Cayapas, ya que una gran parte del área se encuentra dentro de la misma.

**Entidad responsable:** Ministerio del Ambiente

- **Proyecto 3: Proyecto de uso y aprovechamiento adecuado del agua.**

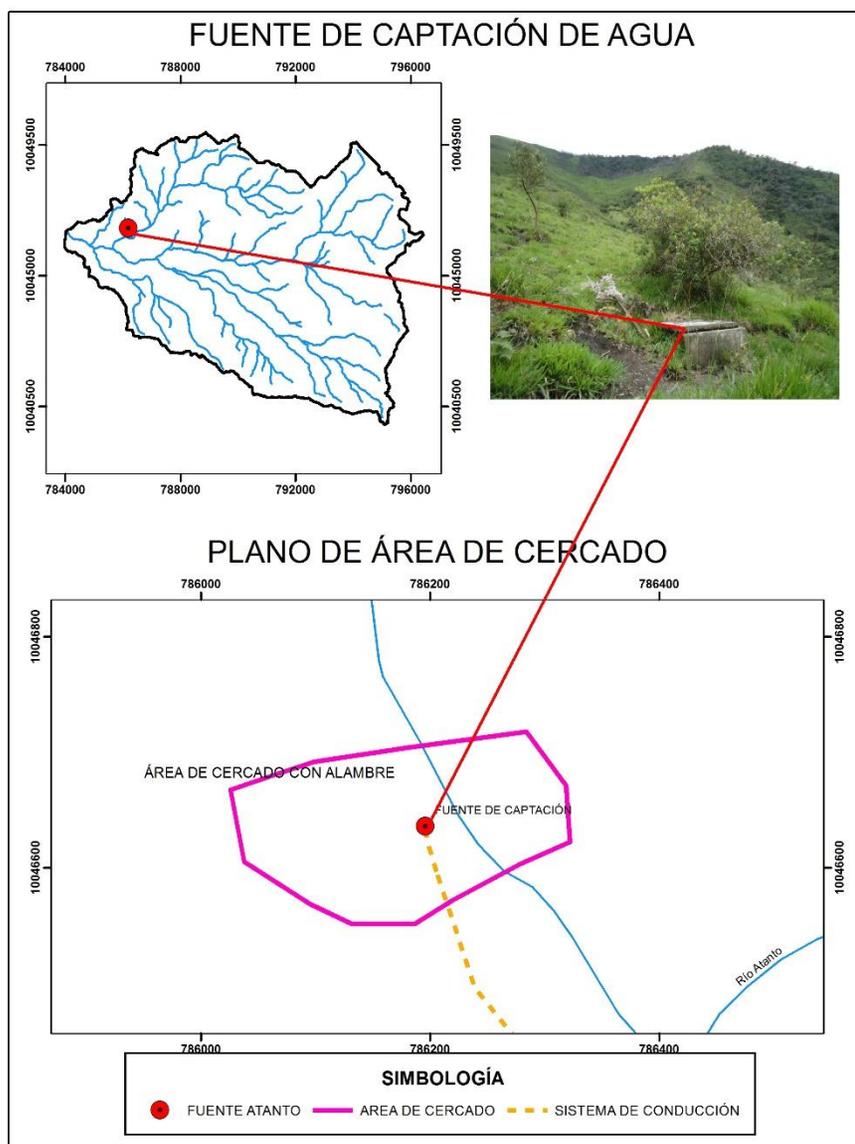
Este proyecto tiene la finalidad de generar ideas para la conservación, manejo y protección de los afluentes de agua de consumo humano, los mismos que deben encontrarse en un estado óptimo para no afectar a la salud de la población que de ahí se abastece; estos lineamientos se encuentran basados en Ley orgánica de recursos hídricos, usos y aprovechamiento del agua y en la Reforma del Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria de Medio Ambiente

**Beneficiarios:** Según la identificación y análisis de involucrados los beneficiarios son la comunidad de Irubí y la Junta administradora de agua como organización.

**a) Actividad 1: Protección física del área de las fuentes principales de abastecimiento de agua.**

Esta actividad tiene como finalidad proteger y conservar las condiciones naturales del área de la fuente, evitando el ingreso de personas y animales que puedan causar daños y

contaminación. Para esto se debe realizar el cercado con alambre de púas y postes de cemento, en un área de 751.4 metros. En la figura 4.14 Se representa gráficamente como se efectuará el cerramiento físico del área de la fuente.



**Figura 4.14.** Representación gráfica del área y cercado de la fuente  
**Elaboración:** La autora

El cerramiento se lo realizará poniendo los postes cada 5 metros, se necesitara un total de 150 postes de cemento y 1504 metros de alambre de púas, los mismos que cubrirán el área de la fuente.

**Entidad responsable:** GAD Municipal de Cotacachi.

#### **4.3.4.2. Estrategia 2: Educación ambiental**

Tomando en cuenta la situación actual de la microcuenca se ha podido observar que los pobladores de la microcuenca del río Irubí desconocen los temas prioritarios para la protección y conservación de los recursos hídricos; en este caso se pretende dar a conocer la temática prioritaria para la conservación del recurso hídrico y las técnicas de protección del mismo.

**Meta:** Educar a los usuarios que forman parte de la microcuenca del río Irubí sobre la importancia de mantener y cuidar las fuentes de agua para consumo humano, garantizar la protección y conservación del recurso hídrico y los recursos naturales de la microcuenca.

- **Proyecto 1: Proyecto de Señalización de la fuente de captación de agua de consumo**

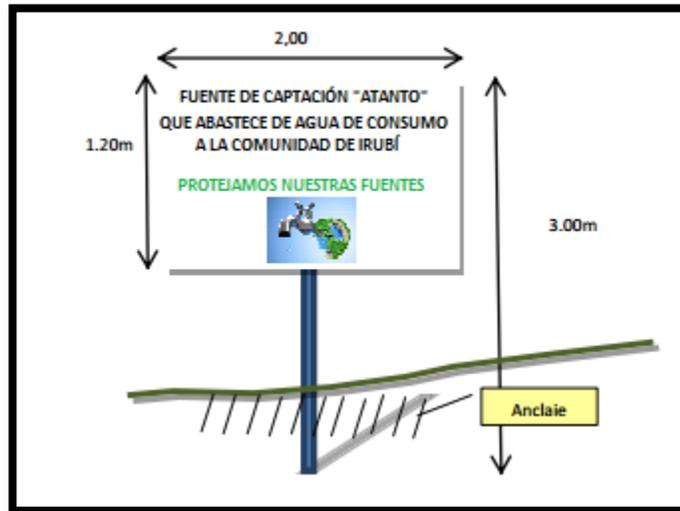
Es prioritario que la población conozca la importancia de las fuentes hídricas de donde se obtiene el agua de consumo para evitar así el deterioro de la calidad ambiental y asegurar el bienestar de la población. Este proyecto se basa en la ley orgánica de recursos hídricos y aprovechamiento de agua.

**Beneficiarios:** Según la identificación y análisis de involucrados los beneficiarios son la comunidad de Irubí y la Junta administradora de agua como organización.

##### **a) Actividad 1: Obtención de señalización**

Se debe realizar y colocar un letrero informativo y educativo que explique la existencia de la fuente hídrica “Atanto” que abastece de agua para el consumo humano a la comunidad, y como área de protección y conservación que tiene restringido el acceso dentro de la misma.

El letrero tendrá una dimensión de 1.20m de altura y 2.00 m de largo para la información y 3 metros desde la parte del anclaje como se muestra en la figura 4.15.

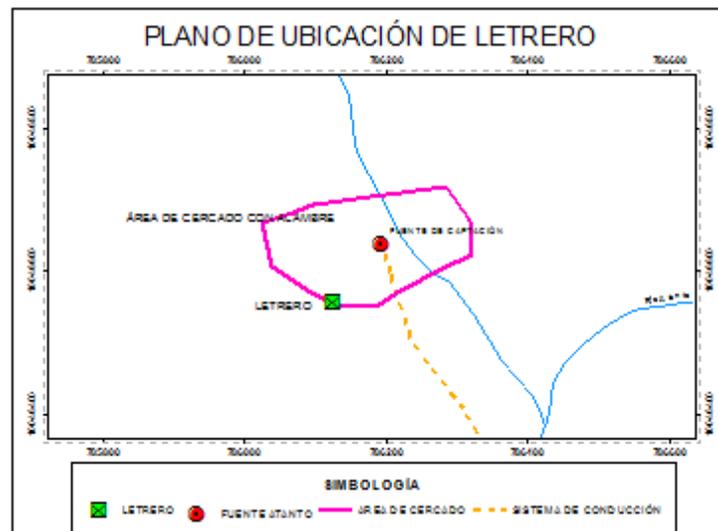


**Figura 4.15.** Letrero de señalización  
**Elaboración:** La autora

**Entidad responsable:** GAD Municipal de Cotacachi.

**b) Actividad 2: Señalar las áreas prioritarias de donde se obtiene el agua para consumo humano.**

El letrero informativo sera ubicado en el ingreso a la fuente hídrica “Atanto” para que la poblacion evite el ingreso al lugar para conservar la calida de agua de consumo, figura 4.16.



**Figura 4.16.** Plano de ubicación de letrero  
**Elaboración:** La autora

**Entidad responsable:** GAD Municipal de Cotacachi.

- **Proyecto 2: Proyecto de buenas prácticas ambientales**

Este proyecto pretende impulsar el desarrollo sostenible en la microcuenca del río Irubí, mediante la generación de conocimientos para disminuir las malas prácticas ambientales, y a base de propuestas de producción para el correcto aprovechamiento de los recursos existentes, a través de educación en prácticas agroecológicas, amigables con el medio ambiente y mediante charlas informativas y capacitaciones a los beneficiarios, con el apoyo del MAGAP y de la Junta de Agua, el impulso de técnicas de buenas prácticas agrícolas ayudará a la conservación de la naturaleza generando un apropiado desarrollo económico. Con estas actividades se busca cumplir con lo que establece el artículo 209 del Texto Unificado de Legislación Secundaria, que toda actividad antrópica deberá realizar las acciones preventivas necesarias para no alterar y asegurar la calidad y cantidad de agua de las cuencas hídricas, la alteración de la composición físico-química y biológica de fuentes de agua por efecto de descargas y vertidos líquidos o disposición de desechos en general u otras acciones negativas sobre sus componentes.

**Beneficiarios:** Según la identificación y análisis de involucrados los beneficiarios son la comunidad de Irubí y la Junta administradora de agua como organización.

**a) Actividad 1: Talleres de capacitación**

Se pretende dar a conocer a los pobladores temas prioritarios para un buen uso y aprovechamiento de los recursos naturales, además es importante que conozcan la legislación vigente y nuevas prácticas que aporten en la realización de sus actividades agrícolas, así como también temas de erradicación de malas prácticas realizadas dentro de sus actividades.

Se realizará tres talleres de capacitación dirigida hacia los beneficiarios de la Junta de agua de Irubí, una cada mes durante tres meses; aprovechando las reuniones que se convocan por medio de la Junta; la primera será de socialización de la Ley orgánica de recursos hídricos y aprovechamiento del agua por parte de SENAGUA, la segunda sobre prevención de

incendios y la tercera en temas de agroecología. La estructura de los talleres se realizará de la siguiente manera cuadro 4.26.

**Cuadro 4.26.** Estructura de talleres a realizar

MES	TALLER	TEMAS A TRATAR	ENTIDAD ENCARGADA
MES 1	Taller de socialización de la Ley orgánica de recursos hídricos y aprovechamiento del agua	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Derechos de la naturaleza: Conservación del recurso hídrico</li> <li>• Deberes y atribuciones de las juntas administradoras de agua potable.</li> <li>• Autonomía de gestión y suficiencia financiera.</li> </ul>	SENAGUA
MES 2	Taller de prevención de incendios	<ul style="list-style-type: none"> <li>• El monte y sus funciones</li> <li>• Los incendios forestales</li> <li>• Técnicas para evitar incendios</li> </ul>	MAE
MES 3	Taller de agroecología	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Que es agroecología</li> <li>• Técnicas agroecológicas</li> </ul>	MAE

**Elaboración:** La autora

Se ha podido observar que la población desconoce la ley de recursos hídricos, y es muy importante que las juntas de agua conozcan los nuevos lineamientos de estas leyes. En la microcuenca se ha observado que la población realiza la quema de espacios de vegetación así que es importante profundizar en este tema para evitar la afectación de los recursos naturales.

El manejo de prácticas agroecológicas ayudara a que la población aplique técnicas de producción limpias, dedicando actividades que ayudaran a restaurar la cobertura vegetal de los terrenos, evitar y reducir la polución ambiental, mantener y mejorar la fertilidad del suelo, y aumentar el rendimiento de los sistemas de producción.

**Responsable:** SENAGUA y Ministerio del Ambiente.

- **Proyecto 3: Proyecto de socialización de la propuesta de manejo del recurso Hídrico**

Este proyecto tiene como finalidad dar a conocer las actividades a realizar e insumos requeridos para ejecutar la propuesta de manejo mediante la convocatoria del Presidente de la Junta de agua de Irubí; tomando en cuenta lo que menciona la Constitución Nacional al declarar en uno de sus artículos el interés público la preservación del ambiente, la conservación de los ecosistemas, la biodiversidad y la integridad del patrimonio genético del país, la prevención del daño ambiental y la recuperación de los espacios naturales degradados.

**Beneficiarios:** Según la identificación y análisis de involucrados los beneficiarios son la comunidad de Irubí y la Junta administradora de agua como organización.

**a) Actividad 1: Taller de socialización de propuesta de manejo del recurso hídrico**

Las actividades a realizarse para la realización del taller de socialización de la propuesta de manejo del recurso hídrico en la microcuenca del río Irubí se enumeran a continuación:

1. Identificar a los actores directamente involucrados en el área de influencia del proyecto.
2. Realizar un taller de socialización de la propuesta de manejo de las fuentes hídricas para consumo humano a los actores identificados de la comunidad de Irubí.

**Responsable:** GAD Municipal de Cotacachi

A continuación, en el cuadro 4.27, se muestra un cronograma valorado sobre la realización de cada una de las actividades propuestas.

**Cuadro 4.27.** Cronograma valorado de propuesta de manejo

Medida Ambiental	Actividad de propuesta de manejo	Sub-actividades	Tiempo (meses)												Costo referencial de actividades (Dólares)	Responsable			
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12					
Estrategia 1: Prevención y mitigación:	Proyecto de recuperación de espacios degradados.	Forestación y reforestación.	Obtención de plantas	x													4225	MAE	
			Adquisición de materiales para actividades de siembra	x															200
			Plantación	x	x														200
			Transporte	x															100
		<b>costo total de la actividad</b>														<b>4725</b>			
	Protección de espacios en proceso de regeneración.	Señalización	x	x														1000	MAE
			Monitoreo	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		360	
		<b>costo total de la actividad</b>														<b>1360</b>			
	Proyecto de Conservación de la cobertura vegetal	Protección de áreas en buen estado de conservación.	Señalización	x	x													1000	GAD Municipal de Cotacachi
			Monitoreo	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		360	
<b>Costo total de la actividad</b>														<b>1360</b>					

	Proyecto de uso y aprovechamiento adecuado del agua.	Protección física del área de la fuente principal de abastecimiento de agua	Actividades de cercado			x	x											2252	GAD Municipal de Cotacachi	
			Mano de obra			x	x	x										2500		
		<b>Costo total de la actividad</b>															<b>4752</b>			
<b>Estrategia 2:</b> Educación ambiental	Proyecto de Señalización de las fuentes de captación de agua de consumo	Obtención de señalización	Adquisición de letreros informativos					x										1000	GAD Municipal de Cotacachi	
		<b>Costo total de la actividad</b>															<b>1000</b>			
	Señalizar las áreas prioritarias de donde se obtiene el agua para consumo humano.	Mano de obra							x										360	GAD Municipal de Cotacachi
		<b>Costo total de la actividad</b>															<b>360</b>			
Proyecto de buenas prácticas ambientales.	Talleres de capacitación	Taller de prevención de quemas							x									400	MAE SENAGUA	
		Charla de la ley del recurso hídrico								x								400		
		Taller de agroecología										x						400		

		<b>Costo total de la actividad</b>											<b>1200</b>			
	Proyecto de socialización de la propuesta de manejo del recurso Hídrico.	Taller de socialización de propuesta de manejo del recurso hídrico												x	500	Gobiernos Autónomos Descentralizados SENAGUA
		<b>Costo total de la actividad</b>											<b>500</b>			
<b>TOTAL</b>															<b>15527</b>	

**Elaboración:** La autora

## CAPÍTULO V

### 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1. Conclusiones

- El área de estudio tiene un rango de precipitación media anual de 1000-1100 mm, la temperatura media es de 10 °C, cuenta con 11 drenajes de tipo perenne y la cobertura vegetal predominante corresponde a vegetación arbustiva.
- Los servicios ecosistémicos hídricos simulados por el modelo son diferentes en el año 2009 que en promedio registró un caudal total de 0.77 m<sup>3</sup>/s en comparación con el año 2013 que registró un caudal promedio de 1.09 m<sup>3</sup>/s.
- El modelo mostró un ajuste del coeficiente de eficiencia satisfactorio para la microcuenca del río Irubí, graficando los datos simulados y medidos y aplicando la fórmula de correlación y regresión lineal con un valor de 0,75; concluyendo que no se presentaron errores sistemáticos y que se obtuvo un buen ajuste entre datos simulados y medidos.
- La calibración del modelo es esencial como herramienta de trabajo para la obtención de resultados cercanos a la realidad sobre todo para caudales que sirvieron para la generación de la propuesta de manejo de la microcuenca.
- Después de tomar en cuenta la cantidad de agua para consumo humano, la microcuenca genera un caudal excedente de 6738,1 m<sup>3</sup>/d en época seca y para la época lluviosa se

encontró un caudal de 85493,5 m<sup>3</sup>/d que puede ser aprovechado en diferentes proyectos del recurso hídrico.

## **5.2. Recomendaciones**

- La propuesta de manejo del recurso hídrico puede ser utilizada en futuros proyectos de aprovechamiento de agua dentro de la microcuenca.
- Realizar mediciones de caudales continuamente dentro de la microcuenca para tener un seguimiento del aumento o disminución del afluente.
- Socializar los proyectos con GADs parroquiales para que se incentive la protección de microcuencas.
- Aplicar el modelo hidrológico SWAT en otras microcuencas para definir la cantidad de agua y aporte de sedimentos.
- Se debería proponer la compra de los terrenos aledaños a la fuente, para garantizar la protección y conservación de bienes y servicios ambientales que brinda la fuente como tal.

## CAPÍTULO VI

### 6. BIBLIOGRAFÍA

- Abbaspour, K., Johnson, C., & M, V. G. (2004). Estimating uncertain flow and transport parameters using a sequential uncertainty fitting procedure. *Vadose Zone*, 1340-1352.
- Achinelli, M., Perucca, R., & Ligier, H. (2010). Valoración de servicios ecosistémicos. Evaluación multicriterio para la zonificación del servicio ecosistémico en el macrosistema Iberá: Amortiguación hídrica. Argentina: Instituto Nacional de Tecnología Agraria.
- Aitken, A. (1973). Assessing systematic errors in rainfall-runoff. *J. Hydrology*, 20: 121-136.
- ASAMBLEA NACIONAL REPÚBLICA DEL ECUADOR. (2008). *CONSTITUCIÓN POLÍTICA DEL ECUADOR*. Ecuador.
- ASAMBLEA NACIONAL REPÚBLICA DEL ECUADOR. (2014). *LEY ORGÁNICA DE RECURSOS HÍDRICOS, USOS Y APROVECHAMIENTOS DEL AGUA*. Quito.
- Baez, S., Cuesta, F., Cáceres, Y., Arnillas, C., & Vásquez, R. (1999). *Plan de Manejo de la Reserva Ecológica Cotacachi Cayapas*. Ecuador.
- Balvanera, P., & Cotler, H. (2009). Estado y tendencias de los servicios ecosistémicos, en *Capital natural de México*, vol. II: Estado de conservación y tendencias de cambio. *CONABIO*, 185-245.
- Benites, A., Campos, J., Faustino, J., Villalobos, R., & Madrigal, R. (2007). Identificación de servicios ecosistémicos como base para el manejo participativo de los recursos naturales en la cuenca del río Otún. *Recursos Naturales y Ambiente*, (55), 83-90.
- Camacho, V. V., & Ruiz, L. A. (2012). MARCO CONCEPTUAL Y CLASIFICACIÓN DE LOS SERVICIOS ECOSISTÉMICOS. *BIO-CIENCIAS*, 3-15.

- CIAT. (2010). *swat. Conceptos básicos y guía rápida para el usuario*.
- FAO . (1985). Directivas: Evaluación de tierras para la agricultura de secano. *Boletín de suelos de la FAO*, 268.
- FAO. (28 de Abril de 2007). *Las cuencas y la gestión del riesgo a los desastres naturales en Guatemala*. Obtenido de <http://coin.fao.org/coin-static/cms/media/>
- FAO. (2009). *Monitoreo y Evaluación de los Recursos Forestales Nacionales – Manual para la recolección integrada de datos de campo. Versión 2.2. Documento de Trabajo de Monitoreo y Evaluación de los recursos Forestales Nacionales, NFMA 37/S*. Roma.
- Fernández, A., & Mortier, C. (2005). *Evaluación de la condición del agua para consumo humano en Latinoamérica*. Universidad de Buenos Aires. Buenos Aires.
- Galván, L., Olías, M., Fernández de Villarán, R., & Domingo-Santos, J. (2007). Aplicación del modelo hidrológico SWAT a la cuenca del río Meca (Huelva, España). *Geogaceta*, 63-66.
- Guerrero, E., De Keizer, O., & Córdoba, R. (2006). *La Aplicación del Enfoque Ecosistémico en la Gestión de los recursos Hídricos*. Quito, Ecuador: Editorial Fraga.
- Guerrero, T., Rives, C., Rodríguez, A., Saldívar, Y., & Cervantes, V. (2009). *El agua en la ciudad de México*. Universidad Nacional Autónoma de México. México.
- Hurtado, J. (2012). *Informe preliminar de avances en la modelación Hidrológica de balance década 2002 - 2012 en Torno al proyecto de geodinámica*. Secretaría de Gestión de Riesgos. Ecuador.
- Imbach, P., Molina, L., Locatelli, B., Poupard, O., Ciais, P., Corrales, L., & Mahe, G. (2010). Climatology- based regional modeling of potential vegetation and average annual long-term runoff for Mesoamerica . *Hydrology and Earth System Sciences*, 1-17.
- INEC. (2012). *Encuesta Nacional de Empleo, Desempleo y Subempleo – ENEMDU, Módulo de Información Ambiental en Hogares*. Ecuador.
- INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES . (2005). *Atlas climático de Colombia*. Colombia.
- Kocian, M., Batker, D., & Harrison-Cox, J. (2011). *Estudio ecológico de la región de Intag, Ecuador: Impactos ambientales y recompensas potenciales de la minería*. *Earth Economics*,. Tacoma, WA, Estados Unidos.
- Millennium Ecosystem Assessment. (2005). *Ecosystems and Human Well-being: Biodiversity Synthesis*. Washington, DC.

- Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2010). *Conceptos básicos de cuencas*. El Salvador.
- Neitsch, S., Arnold, J., Kiniry, J., & Williams, J. (2005). *Soil Water Assessment Tool (SWAT). Documentación teórica*. Texas, Usa.
- Oñate, F., & Aguilar, G. (2010). *APLICACIÓN DEL MODELO SWAT PARA LA ESTIMACIÓN DE CAUDALES Y SEDIMENTOS EN LA CUENCA ALTA DEL RIO CATAMAYO*. Universidad Técnica Particular de Loja. Loja, Ecuador.
- Plan Nacional del Buen Vivir. (2013). *Plan Nacional del Buen Vivir 2013 - 2017*. Quito, Ecuador.
- Pourrut, P., Róvere, O., Romo, I., & Villacrés, H. (1992). *CLIMAS DE ECUADOR*. Ecuador.
- PRESIDENCIA DE LA REPÚBLICA DEL ECUADOR. (2003). *Texto unificado de legislación secundaria del Ministerio del Ambiente*. Quito.
- Proaño, M., Gavilanes, C., Valenzuela, P., & Cisneros, C. (2006). *Aplicación del modelo SWAT en la subcuenca del río Ambato*. . Ecuador.
- Quesada, R. (2007). Los Bosques de Costa Rica. IX Congreso Nacional de Ciencias. Cartago, Costa Rica : . Instituto Tecnológico de Costa Rica.
- RECC, P. d. (2007). *Plan de Manejo Reserva Ecológica Cotacahi - Cayapas*. Ecuador.
- Retamal, R., Madrigal, R., Alpízar, F., & Jiménez, F. (2008). *Metodología para valorar la oferta de servicios ecosistémicos asociados al agua de consumo humano, Copán Ruinas, Honduras-Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza*. Costa Rica.
- Reyes, S. (2002). *Introducción a la meteorología* . Universidad Autónoma de Baja California. Baja California.
- Saxton, Keith, E., & Rauls, W. (14 de Noviembre de 2009). Obtenido de Soil Water Characteristics, Hydraulic Properties: <http://hydrolab.arsusda.gov/soilwater/Index.htm>
- SENPLADES. (2011). *NORMAS PARA LA INCLUSIÓN DE PROGRAMAS Y PROYECTOS EN LOS PLANES DE INVERSIÓN PÚBLICA*.
- SGR. (2012). *INFORME PRELIMINAR DE AVANCES EN LA MODELACIÓN HIDROLÓGICA DE BALANCE (DÉCADA 2002 - 2012) EN TORNO AL PROYECTO DE GEODINÁMICA*. Quito, Ecuador.

- Silva, O. (2002). *Evaluación de los componentes de erosión de los modelos EPIC y WEPP y de producción de agua del modelo SWAT en condiciones de sabana y altas pendientes. Universidad Central de Venezuela. Maracay.*
- SIMCE. (26 de Abril de 2011). Obtenido de <http://simce.ambiente.gob.ec>
- Subsecretaría de Agua Potable y Saneamiento. (2015). *Guía de Intervención Social en Proyectos de Agua y Saneamiento. Quito.*
- Tapia, J. (2012). *MODELIZACIÓN HIDROLÓGICA DE UN ÁREA EXPERIMENTAL EN LA CUENCA DEL RÍO GUAYAS EN LA PRODUCCIÓN DE CAUDALES Y SEDIMENTOS: UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PLATA. La Plata, Argentina.*
- Torres, E., Mejía, E., Cortés, J., Palacios, E., & Exebio, A. (2005). Adaptación de un modelo de simulación hidrológica a la cuenca del río Laja, Guanajuato, México. *Agrociencia*, 481-490.
- Torres, E; Fernández, D; Oropeza, J; Mejía, E. (2004). CALIBRACIÓN DEL MODELO HIDROLÓGICO SWAT EN LA CUENCA “EL TEJOCOTE” ATLACOMULCO, ESTADO DE MÉXICO. *TERRA Latinoamericana*, 437-444.
- UICN. (2009). *Guía para la Elaboración de Planes de Manejo de Microcuencas. Guatemala: Policolor.*
- Umaña, E. (2002). *Educación ambiental con enfoque en manejo cuencas y prevención de desastres. Universidad Nacional Agraria. Facultad de Recursos Naturales y del Ambiente. Nicaragua.*
- Valenzuela, P. (2005). *Aplicación del Modelo Hídrico Swat 99.2 para el análisis del impacto de la deforestación y del avance de la frontera agrícola en la producción y almacenamiento del recurso agua en las partes alta y media de la Subcuenca del Río San Pedro. ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO. Quito, Ecuador.*
- Vargas, X. (2005). *Modernización e Integración Transversal de la Enseñanza de Pregrado en Ciencias de la Tierra. Aforo en un Cauce Natural. Universidad de Chile.*
- Villegas, J. (2004). Análisis del conocimiento en la relación agua-suelo-vegetación para el departamento de Antioquia. *Revista EIA*, 73-79.
- Wagener, T., Wheeler, H., & Gupta, H. (2004). *Rainfall-Runoff Modelling in Gauged and Ungauged Cathment, Imperial College Press. Londres.*

**ANEXOS**  
**ANEXO 1 MAPAS**

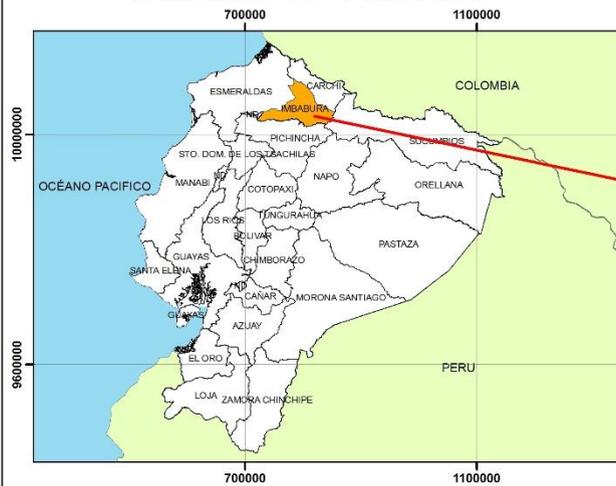


# UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

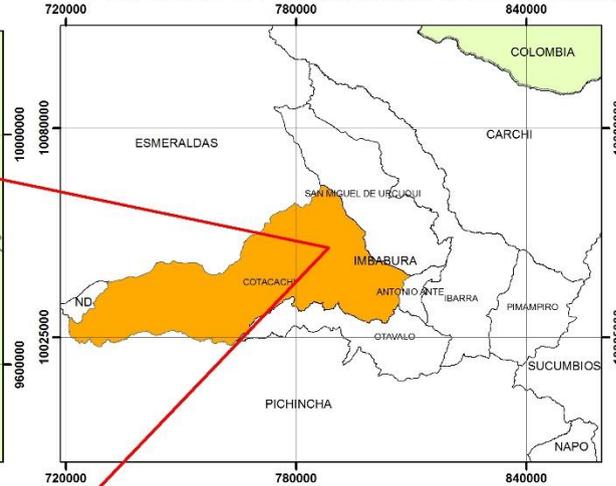
## CARRERA DE INGENIERIA EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES



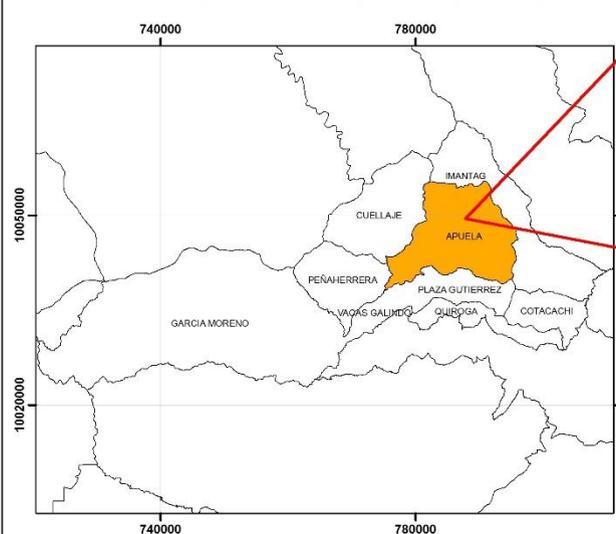
**UBICACIÓN EN EL ECUADOR**



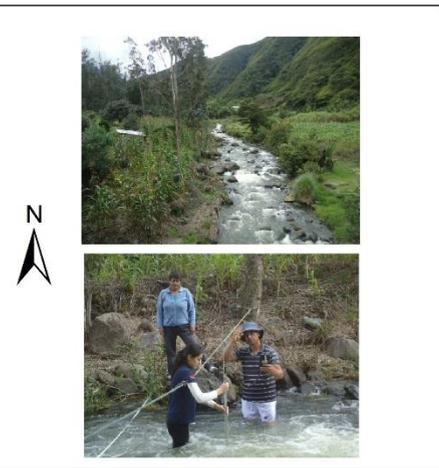
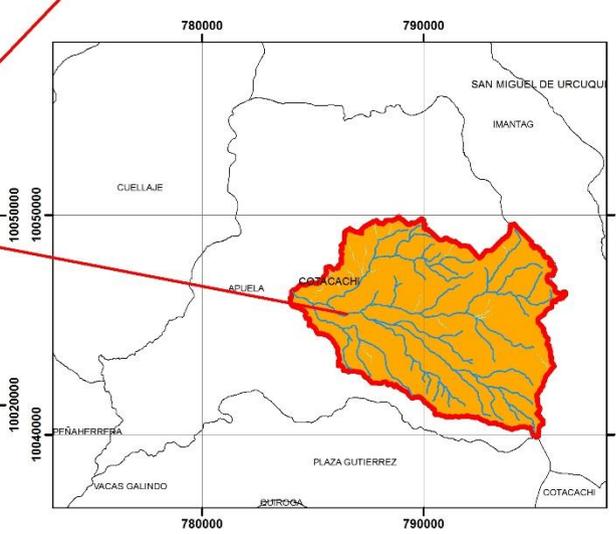
**UBICACIÓN EN LA PROVINCIA DE IMBABURA**



**UBICACIÓN EN EL CANTÓN COTACACHI**



**UBICACIÓN EN LA PARROQUIA APUELA**



### SIMBOLOGÍA

#### DRENAJES

- PERENNE
- INTERMITENTE
- AREA DE ESTUDIO

"IDENTIFICACIÓN DE LOS SERVICIOS ECOSISTÉMICOS HÍDRICOS DE CONSUMO HUMANO EN LA MICROCUENCA DEL RÍO IRUBÍ, MEDIANTE EL MODELO SWAT Y PROPUESTA DE MANEJO DEL RECURSO"

ELABORADO POR:  
ELIANA PANTOJA

REVISADO POR:  
ING. OSCAR ROSALES

CONTENIDO:  
**MAPA DE UBICACIÓN**

FUENTE:  
SNI, 2013

FECHA:  
28-03-2016

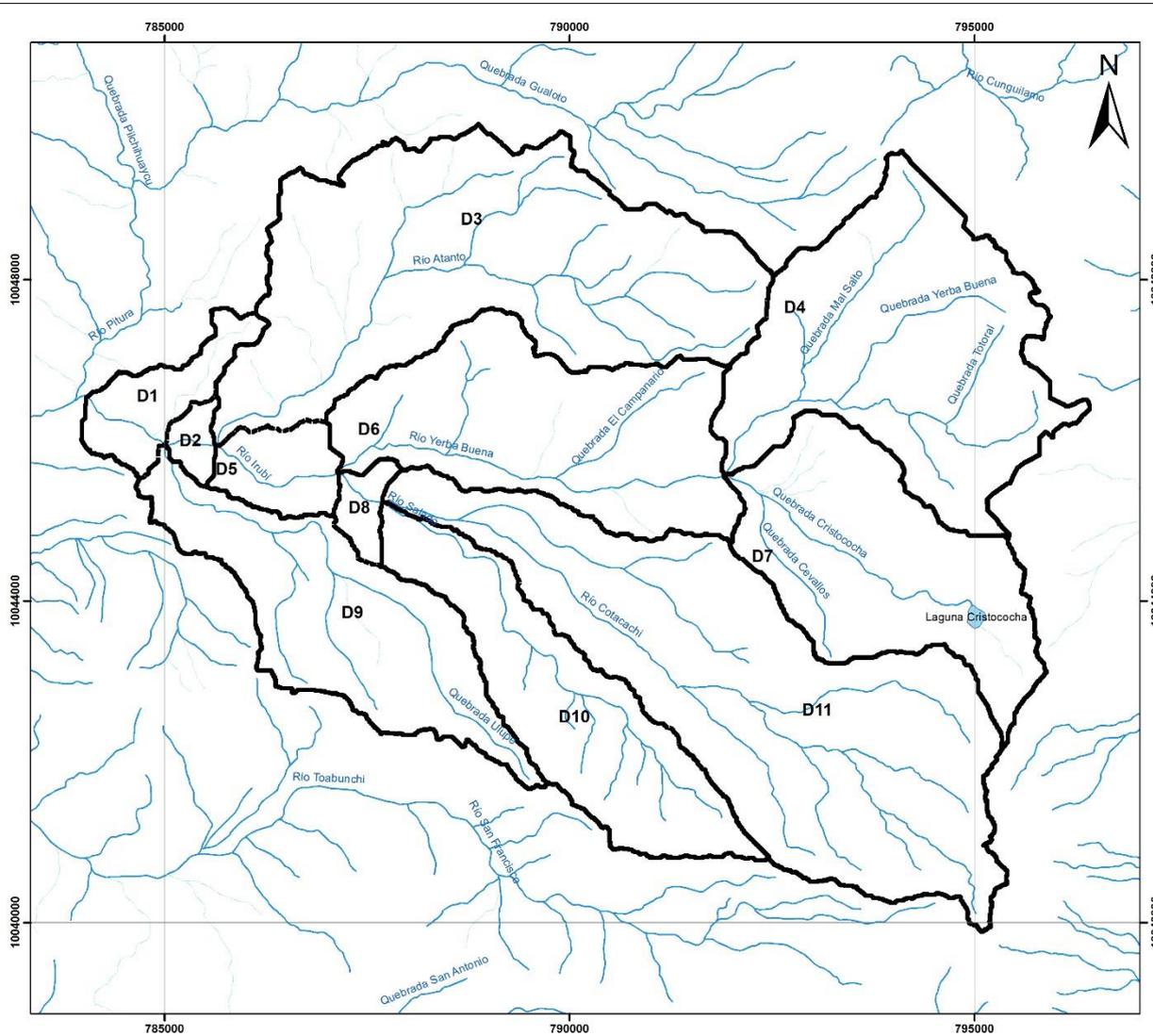
ESCALA DE IMPRESIÓN:  
1:50000

NÚMERO DE MAPA:  
1 DE 11

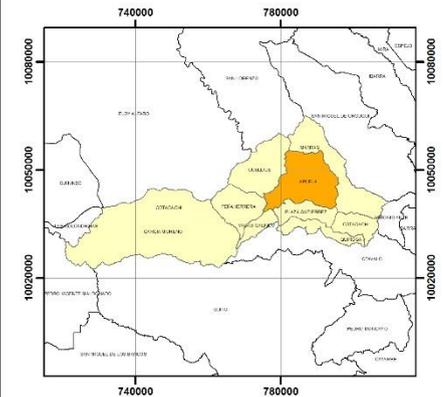




**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
**CARRERA DE INGENIERIA EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES**



**UBICACIÓN GEOGRÁFICA**



**SIMBOLOGIA**

- AREA DE ESTUDIO
- DRENAJES MENORES
- LAGUNA CRISTOCOCHA
- PERENNE
- INTERMITENTE

"IDENTIFICACIÓN DE LOS SERVICIOS ECOSISTÉMICOS  
HÍDRICOS DE CONSUMO HUMANO EN LA MICROCUENCA  
DEL RÍO IRUBÍ, MEDIANTE EL MODELO SWAT Y  
PROPUESTA DE MANEJO DEL RECURSO"

ELABORADO POR:  
**ELIANA PANTOJA**

REVISADO POR:  
**ING. OSCAR ROSALES**

CONTENIDO:  
**MAPA HIDROLÓGICO**

FUENTE:  
**SNI, 2013**

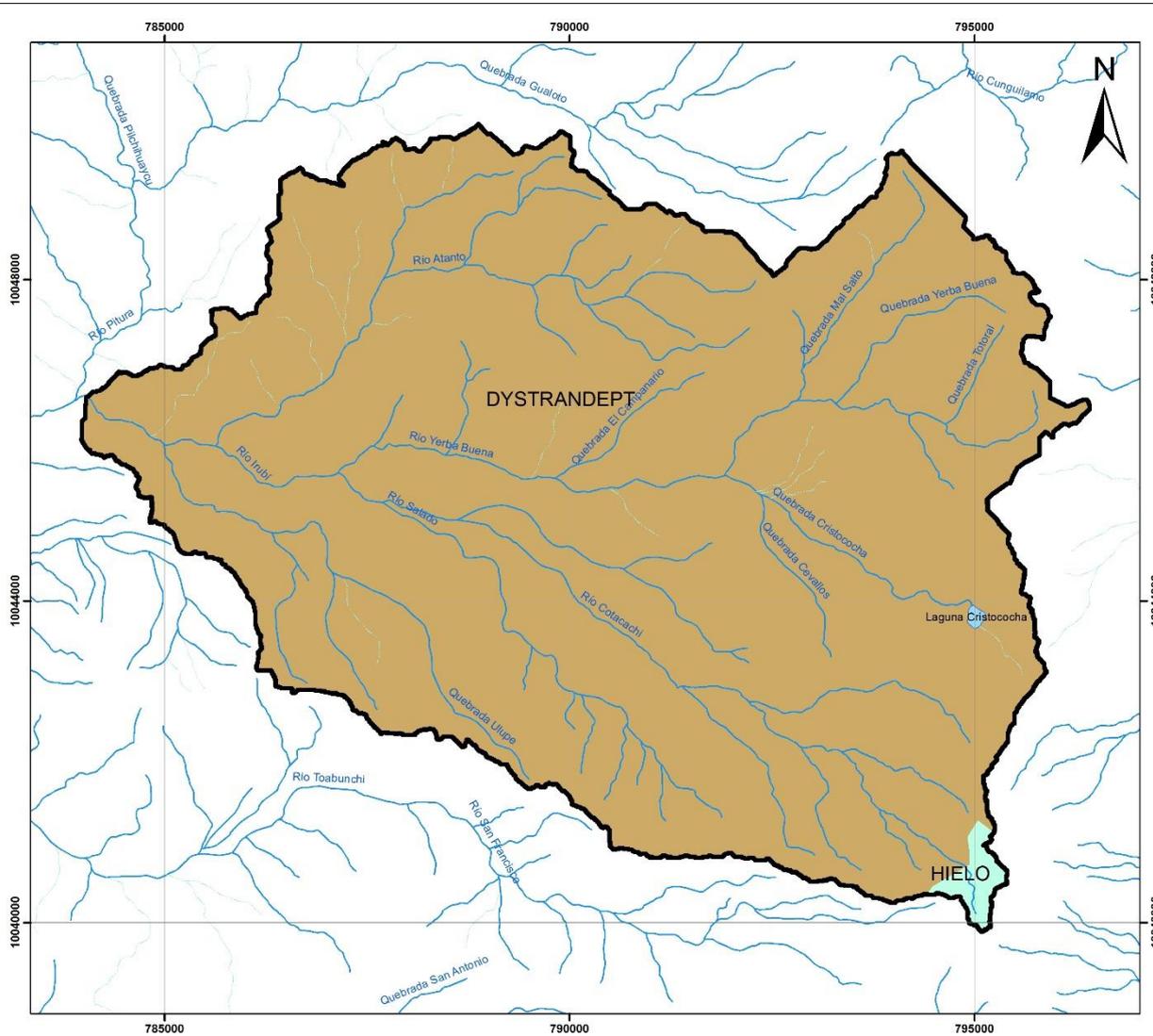
FECHA:  
**28-03-2016**

ESCALA DE IMPRESIÓN:  
**1:50000**

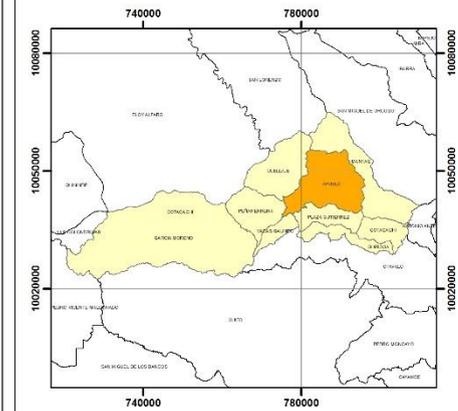
NÚMERO DE MAPA:  
**3 DE 11**



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
**CARRERA DE INGENIERIA EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES**



**UBICACIÓN GEOGRÁFICA**



**SIMBOLOGIA**

- LAGUNA CRISTOCOCHA
- PERENNE
- INTERMITENTE

**LEYENDA**

- DYSTRANDEPT
- HIELO

"IDENTIFICACIÓN DE LOS SERVICIOS ECOSISTÉMICOS  
 HÍDRICOS DE CONSUMO HUMANO EN LA MICROCUENCA  
 DEL RÍO IRUBÍ, MEDIANTE EL MODELO SWAT Y  
 PROPUESTA DE MANEJO DEL RECURSO"

ELABORADO POR:  
 ELIANA PANTOJA

REVISADO POR:  
 ING. OSCAR ROSALES

CONTENIDO:  
**MAPA TIPOS DE SUELO**

FUENTE:  
 SNI, 2013

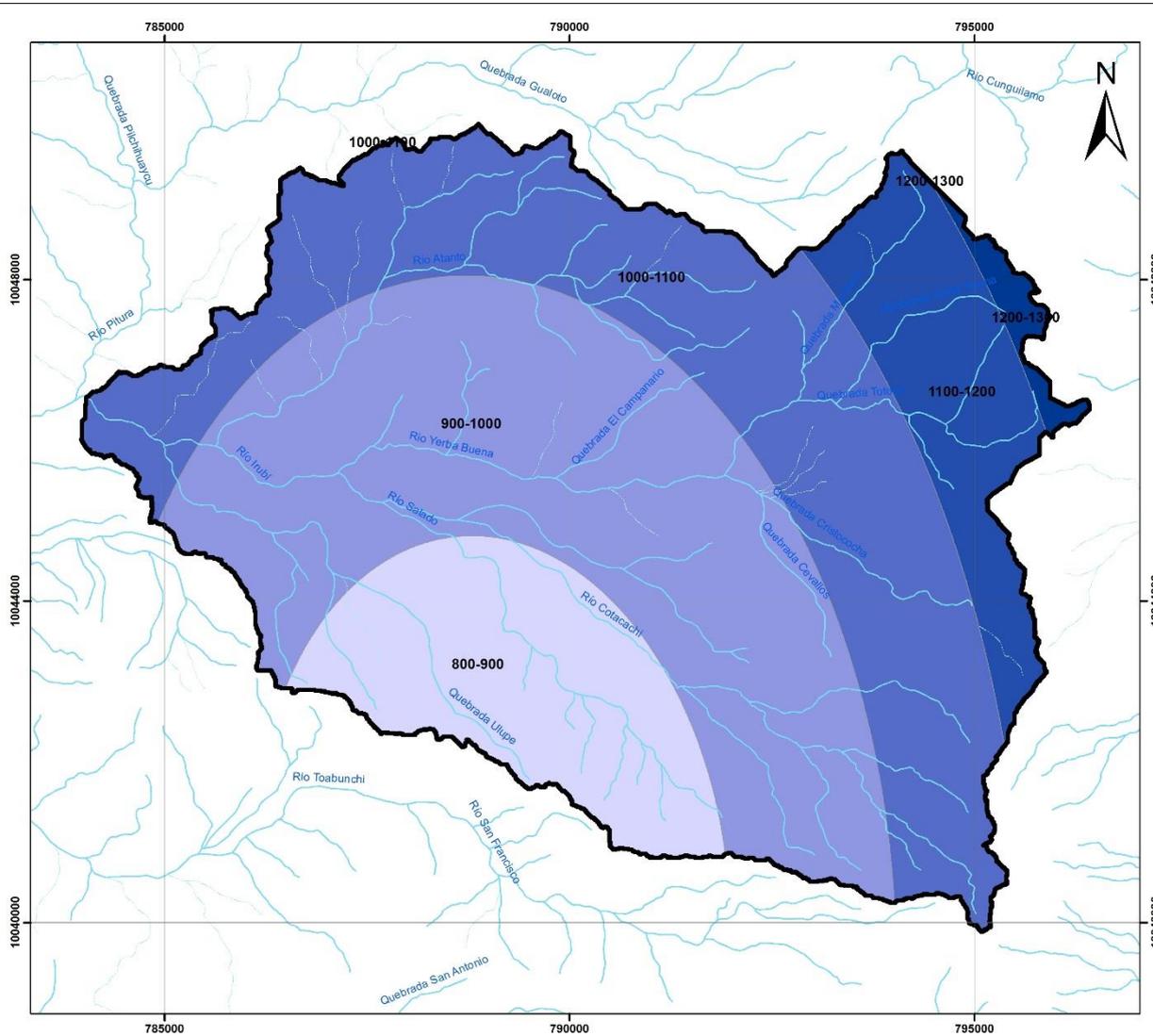
FECHA:  
 28-03-2016

ESCALA DE IMPRESIÓN:  
 1:50000

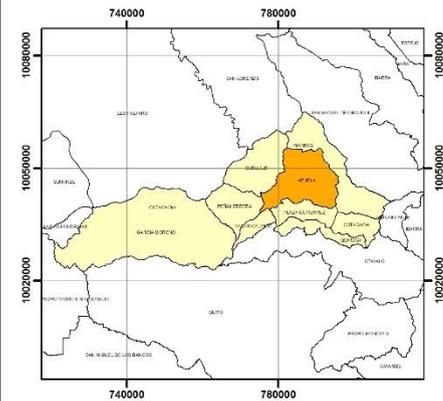
NÚMERO DE MAPA:  
 4 DE 11



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
**CARRERA DE INGENIERIA EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES**



**UBICACIÓN GEOGRÁFICA**



**SIMBOLOGIA**

**hyp\_desc**  
 PERENNE  
 INTERMITENTE

**LEYENDA**

**ISOYETAS (mm)**

	800-900		1000-1100
	900-1000		1100-1200
			1200-1300

"IDENTIFICACIÓN DE LOS SERVICIOS ECOSISTÉMICOS  
 HÍDRICOS DE CONSUMO HUMANO EN LA MICROCUENCA  
 DEL RÍO IRUBÍ, MEDIANTE EL MODELO SWAT Y  
 PROPUESTA DE MANEJO DEL RECURSO"

ELABORADO POR:  
 ELIANA PANTOJA

REVISADO POR:  
 ING. OSCAR ROSALES

CONTENIDO:  
**MAPA ISOYETAS MEDIAS ANUALES**

FUENTE:  
 ELABORACIÓN PROPIA

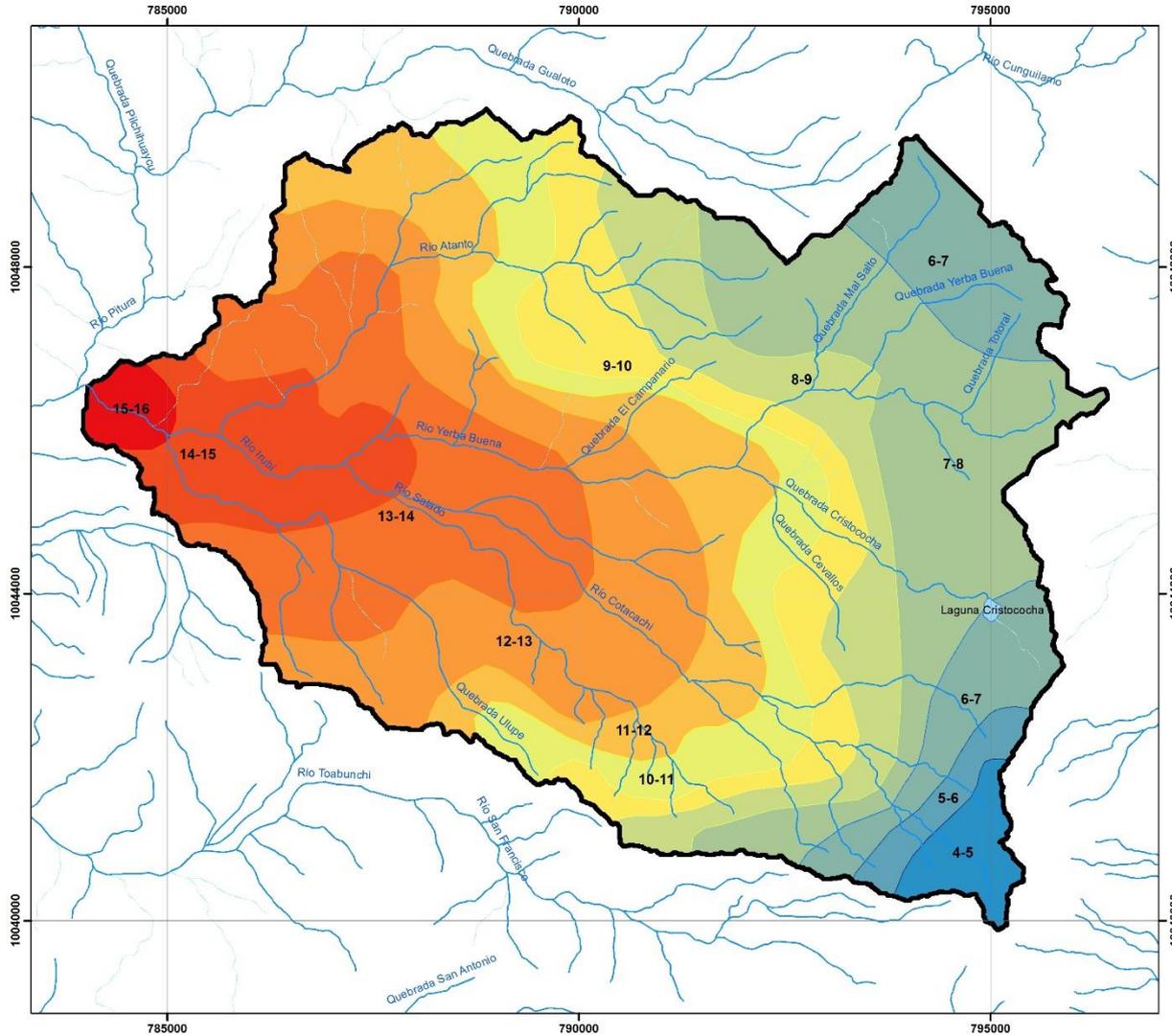
FECHA:  
 28-03-2016

ESCALA DE IMPRESIÓN:  
 1:50000

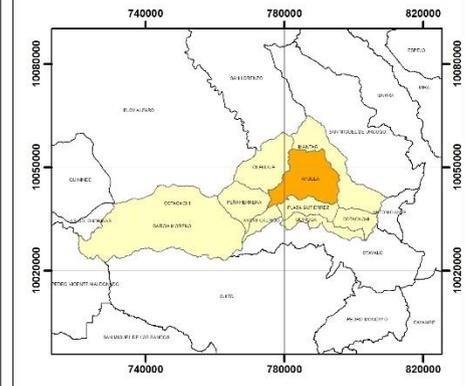
NÚMERO DE MAPA:  
 5 DE 11



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
**CARRERA DE INGENIERIA EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES**



**UBICACIÓN GEOGRÁFICA**



**SIMBOLOGIA**

- PERENNE
- INTERMITENTE
- LAGUNA CRISTOCOCHA

**LEYENDA**

ISOTERMAS (°C)	
4-5	7-8
5-6	8-9
6-7	9-10
12-13	14-15
10-11	15-16
11-12	

"IDENTIFICACIÓN DE LOS SERVICIOS ECOSISTÉMICOS HÍDRICOS DE CONSUMO HUMANO EN LA MICROCUENCA DEL RÍO IRUBÍ, MEDIANTE EL MODELO SWAT Y PROPUESTA DE MANEJO DEL RECURSO"

ELABORADO POR:  
ELIANA PANTOJA

REVISADO POR:  
ING. OSCAR ROSALES

CONTENIDO:  
**MAPA ISOTERMAS MEDIAS ANUALES**

FUENTE:  
SNI, 2013

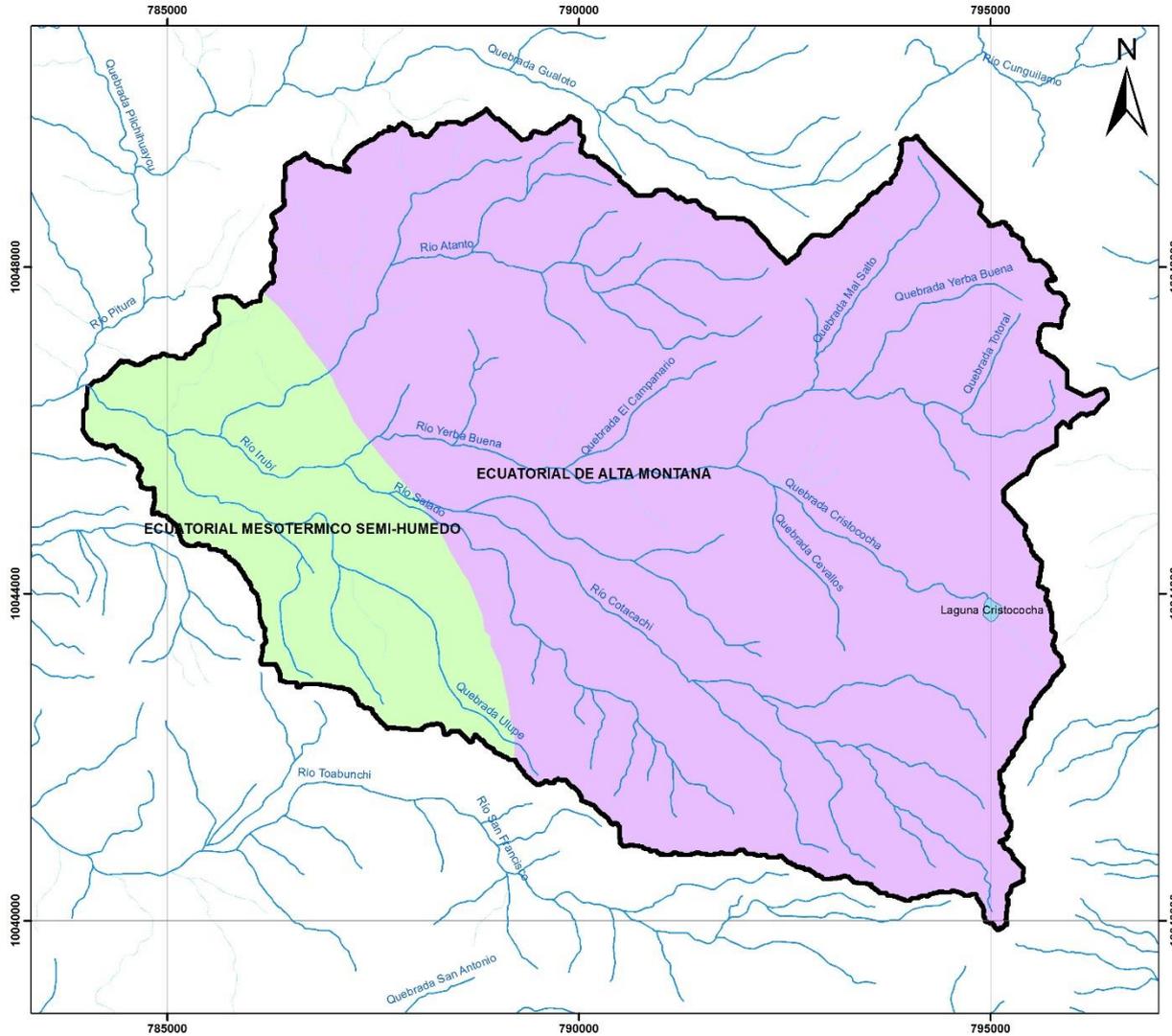
FECHA:  
28-03-2016

ESCALA DE IMPRESIÓN:  
1:50000

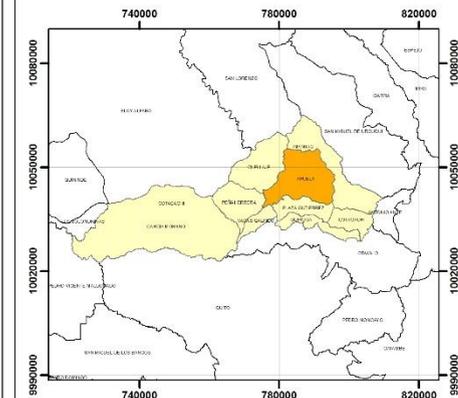
NÚMERO DE MAPA:  
6 DE 11



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
**CARRERA DE INGENIERIA EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES**



**UBICACIÓN GEOGRÁFICA**



**SIMBOLOGIA**

- LAGUNA CRISTOCOCHA
- PERENNE
- INTERMITENTE

**LEYENDA**

- ECUATORIAL DE ALTA MONTANA
- ECUATORIAL MESOTERMICO SEMI-HUMEDO

"IDENTIFICACIÓN DE LOS SERVICIOS ECOSISTÉMICOS  
HÍDRICOS DE CONSUMO HUMANO EN LA MICROCUENCA  
DEL RÍO IRUBÍ, MEDIANTE EL MODELO SWAT Y  
PROPUESTA DE MANEJO DEL RECURSO"

ELABORADO POR:  
**ELIANA PANTOJA**

REVISADO POR:  
**ING. OSCAR ROSALES**

CONTENIDO:  
**MAPA TIPOS DE CLIMA**

FUENTE:  
**SNI, 2013**

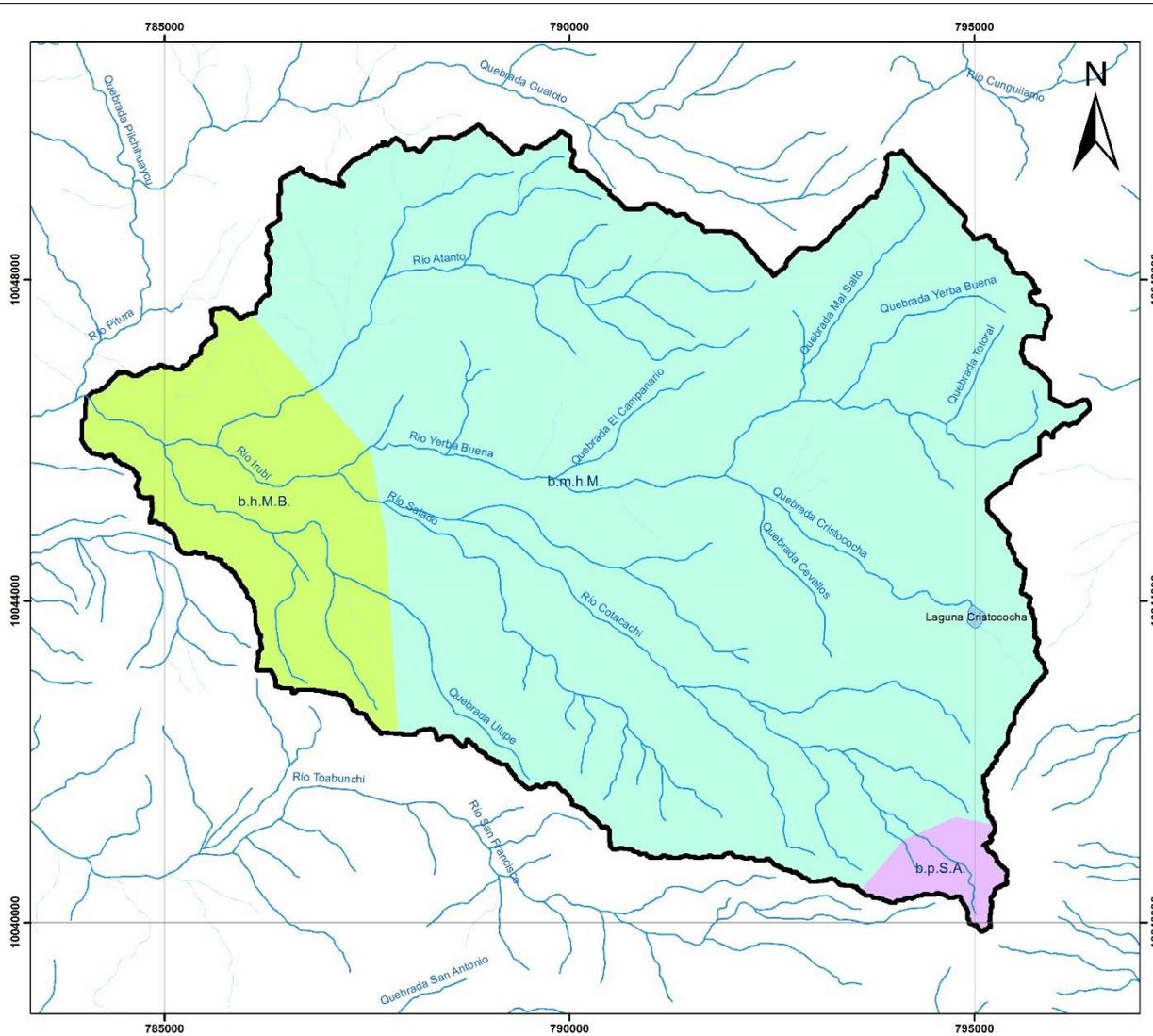
FECHA:  
**28-03-2016**

ESCALA DE IMPRESIÓN:  
**1:50000**

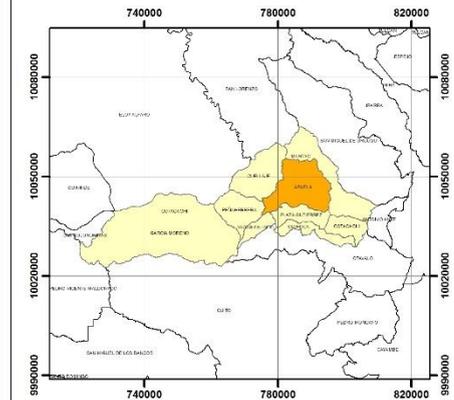
NÚMERO DE MAPA:  
**7 DE 11**



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
**CARRERA DE INGENIERIA EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES**



**UBICACIÓN GEOGRÁFICA**



**SIMBOLOGIA**

- LAGUNA CRISTOCOCHA
- PERENNE
- INTERMITENTE

**LEYENDA**

- b.h.M.B.
- b.m.h.M.
- b.p.S.A.

"IDENTIFICACIÓN DE LOS SERVICIOS ECOSISTÉMICOS  
 HÍDRICOS DE CONSUMO HUMANO EN LA MICROCUENCA  
 DEL RÍO IRUBÍ, MEDIANTE EL MODELO SWAT Y  
 PROPUESTA DE MANEJO DEL RECURSO"

ELABORADO POR:  
 ELIANA PANTOJA

REVISADO POR:  
 ING. OSCAR ROSALES

CONTENIDO:  
**MAPA ZONAS DE VIDA**

FUENTE:  
 SNI, 2013

FECHA:  
 28-03-2016

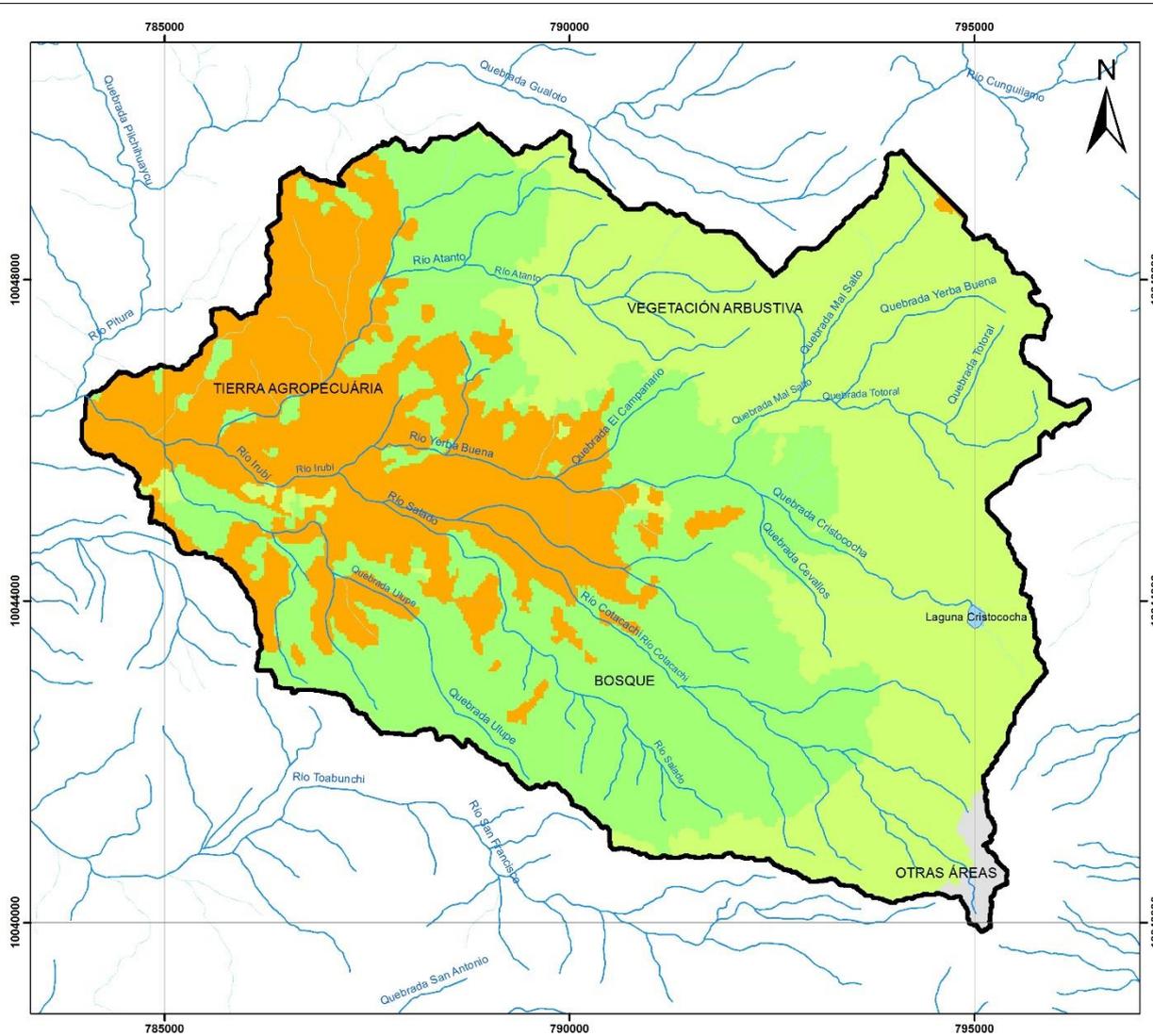
ESCALA DE IMPRESIÓN:  
 1:50000

NÚMERO DE MAPA:  
 8 DE 11

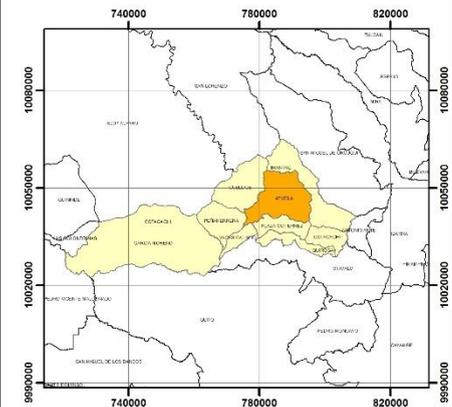




**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
**CARRERA DE INGENIERIA EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES**



**UBICACIÓN GEOGRÁFICA**



**SIMBOLOGIA**

- LAGUNA CRISTOCOCHA
- PERENNE
- INTERMITENTE

**LEYENDA**

- BOSQUE
- CUERPO DE AGUA
- OTRAS AREAS
- TIERRA AGROPECUARIA
- VEGETACION ARBUSTIVA Y HERBACEA

"IDENTIFICACIÓN DE LOS SERVICIOS ECOSISTÉMICOS  
 HÍDRICOS DE CONSUMO HUMANO EN LA MICROCUENCA  
 DEL RÍO IRUBÍ, MEDIANTE EL MODELO SWAT Y  
 PROPUESTA DE MANEJO DEL RECURSO"

ELABORADO POR:  
 ELIANA PANTOJA

REVISADO POR:  
 ING. OSCAR ROSALES

CONTENIDO:  
**MAPA DE COBERTURA VEGETAL**

FUENTE:  
 SNI, 2013

FECHA:  
 28-03-2016

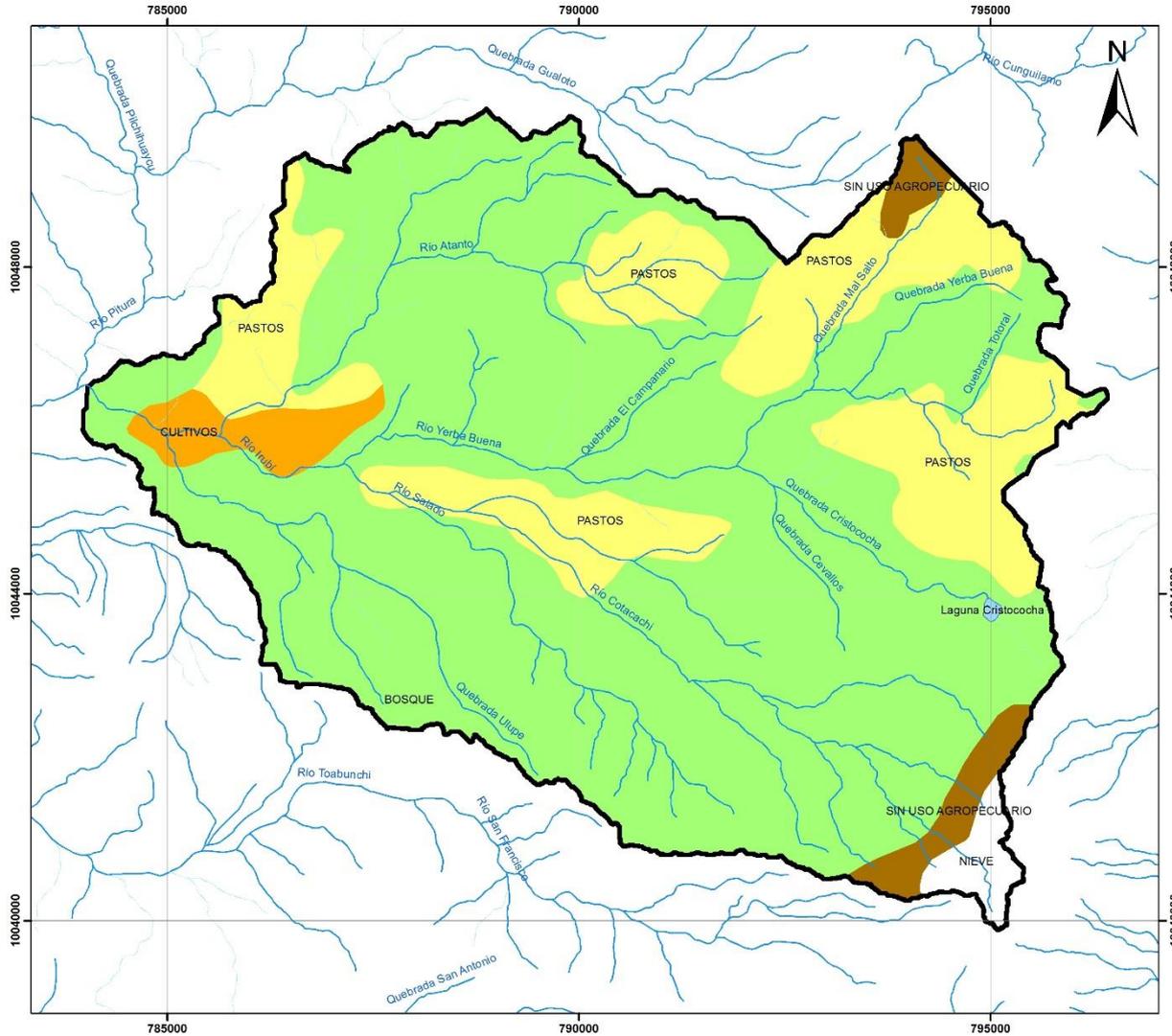
ESCALA DE IMPRESIÓN:  
 1:50000

NÚMERO DE MAPA:  
 10 DE 11

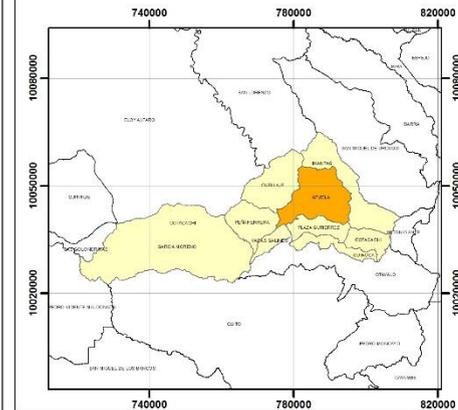


# UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

## CARRERA DE INGENIERIA EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES



### UBICACIÓN GEOGRÁFICA



### SIMBOLOGIA

- PERENNE
- INTERMITENTE
- LAGUNA CRISTOCOCHA

### LEYENDA

- BOSQUE
- CULTIVOS
- NIEVE
- PASTOS
- SIN USO AGROPECUARIO

"IDENTIFICACIÓN DE LOS SERVICIOS ECOSISTÉMICOS  
HÍDRICOS DE CONSUMO HUMANO EN LA MICROCUENCA  
DEL RÍO IRUBÍ, MEDIANTE EL MODELO SWAT Y  
PROPUESTA DE MANEJO DEL RECURSO"

ELABORADO POR:  
ELIANA PANTOJA

REVISADO POR:  
ING. OSCAR ROSALES

CONTENIDO:  
**MAPA USO POTENCIAL DEL SUELO**

FUENTE:  
SNI, 2013

FECHA:  
28-03-2016

ESCALA DE IMPRESIÓN:  
1:50000

NÚMERO DE MAPA:  
11 DE 11

**ANEXO 2**  
**HOJAS DE CÁLCULO DE CAUDALES**

**HOJA 1.** Medición del caudal del río Irubí en el mes de enero.

**PARAMETROS HIDRAULICOS Y GEOMETRICOS**

**SECCION DE AFORO**

Número del Aforo:

1 Nombre del cauce	Cuenca del Rio Irubí
2 Nombre del sitio de aforo	Río Irubí
3 Institución/Responsable/Proyecto	UTN - ELIANA-RNR
4 Observaciones de la sección de aforo	0

**DATOS HIDRÁULICOS Y GEOMETRICOS**

1 Caudal Medio en sección de Aforo (m <sup>3</sup> /s y en l/s)	2.01 m <sup>3</sup> /s	2,007.16 l/s
2 Area Mojada de la sección transversal (m <sup>2</sup> )	3.52	
3 Velocidad media (m/s)	0.57	
4 Perímetro Mojado de la sección transversal (m)	6.64	
5 Espejo de agua (m)	6.50	
6 Tirante máximo (m)	0.76	
7 Profundidad Hidráulica (m)	0.54	
8 Radio Hidráulico (m)	0.53	
9 Número de Froude	0.25	
10 Régimen de Flujo	Régimen Subcrítico	



Imagen del sitio de aforo

**LOCALIZACION DE LA SECCION DE AFORO**

1 Provincia/Cantón/Parroquia	IMBABURA/COTACACHI/
2 Cuenca Hidrográfica	Río Esmeraldas
3 Código Pfastetter	0
4 COORDENADA X UTM (m) (Sitio Aforo)	786003.00
5 COORDENADA Y UTM (m) (Sitio Aforo)	10045629.00
6 Cota (m) (Sitio Aforo)	2054.00

**REALIZACION DE AFORO**

1 Fecha/Hora	January 18, 2015	10H00
2 Responsable de Aforo	Eliana Pantoja	
3 Responsable de Cálculo	Eliana Pantoja	

**INSTRUMENTAL**

1 MARCA/TIPO DE MOLINETE	SIAP
2 CODIGO DE HELICE	Hélice No. 2 - Ensayo No. 212539

/marzo2014

## HOJA 2. Medición del caudal del río Irubí en el mes de febrero.

### PARAMETROS HIDRAULICOS Y GEOMETRICOS

#### SECCION DE AFORO

Número del Aforo:

1 Nombre del cauce	Cuenca del Rio Irubí
2 Nombre del sitio de aforo	Río Irubí
3 Institución/Responsable/Proyecto	UTN - ELIANA-RNR
4 Observaciones de la sección de aforo	0

#### DATOS HIDRÁULICOS Y GEOMETRICOS

1 Caudal Medio en sección de Aforo (m <sup>3</sup> /s y en l/s)	2.56 m <sup>3</sup> /s	2,555.56 l/s
2 Area Mojada de la sección transversal (m <sup>2</sup> )	4.20	
3 Velocidad media (m/s)	0.61	
4 Perímetro Mojado de la sección transversal (m)	6.65	
5 Espejo de agua (m)	6.50	
6 Tirante máximo (m)	0.94	
7 Profundidad Hidráulica (m)	0.65	
8 Radio Hidráulico (m)	0.63	
9 Número de Froude	0.24	
10 Régimen de Flujo	Régimen Subcrítico	



Imagen del sitio de aforo

#### LOCALIZACION DE LA SECCION DE AFORO

1 Provincia/Cantón/Parroquia	IMBABURA/COTACACHI/
2 Cuenca Hidrográfica	Río Esmeraldas
3 Código Pfastetter	0
4 COORDENADA X UTM (m) (Sitio Aforo)	786003.00
5 COORDENADA Y UTM (m) (Sitio Aforo)	10045629.00
6 Cota (m) (Sitio Aforo)	2054.00

#### REALIZACION DE AFORO

1 Fecha/Hora	February 22, 2015	10H00
2 Responsable de Aforo	Eliana Pantoja	
3 Responsable de Cálculo	Eliana Pantoja	

#### INSTRUMENTAL

1 MARCA/TIPO DE MOLINETE	SIAP
2 CODIGO DE HELICE	Hélice No. 2 - Ensayo No. 212539

/marzo2014

### HOJA 3. Medición del caudal del río Irubí en el mes de marzo.

## PARAMETROS HIDRAULICOS Y GEOMETRICOS

### SECCION DE AFORO

Número del Aforo:

1 Nombre del cauce	Cuenca del Rio Irubí
2 Nombre del sitio de aforo	Río Irubí
3 Institución/Responsable/Proyecto	UTN - ELIANA-RNR
4 Observaciones de la sección de aforo	0

### DATOS HIDRÁULICOS Y GEOMETRICOS

1 Caudal Medio en sección de Aforo (m <sup>3</sup> /s y en l/s)	3.27 m <sup>3</sup> /s	3,267.67 l/s
2 Area Mojada de la sección transversal (m <sup>2</sup> )	5.28	
3 Velocidad media (m/s)	0.62	
4 Perímetro Mojado de la sección transversal (m)	6.88	
5 Espejo de agua (m)	7.50	
6 Tirante máximo (m)	1.20	
7 Profundidad Hidráulica (m)	0.70	
8 Radio Hidráulico (m)	0.77	
9 Número de Froude	0.24	
10 Régimen de Flujo	Régimen Subcrítico	

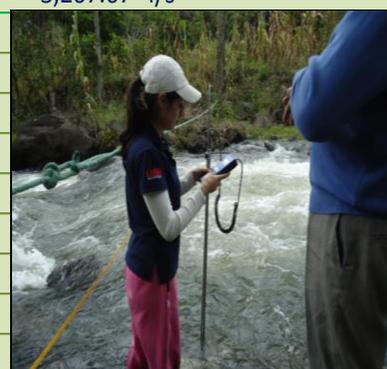


Imagen del sitio de aforo

### LOCALIZACION DE LA SECCION DE AFORO

1 Provincia/Cantón/Parroquia	IMBABURA/COTACACHI/
2 Cuenca Hidrográfica	Río Esmeraldas
3 Código Pfastetter	0
4 COORDENADA X UTM (m) (Sitio Aforo)	786003.00
5 COORDENADA Y UTM (m) (Sitio Aforo)	10045629.00
6 Cota (m) (Sitio Aforo)	2054.00

### REALIZACION DE AFORO

1 Fecha/Hora	March 25, 2015	10H00
2 Responsable de Aforo	Eliana Pantoja	
3 Responsable de Cálculo	Eliana Pantoja	

### INSTRUMENTAL

1 MARCA/TIPO DE MOLINETE	SIAP
2 CODIGO DE HELICE	Hélice No. 2 - Ensayo No. 212539

/marzo2014

## HOJA 4. Medición del caudal del río Irubí en el mes de julio.

### PARAMETROS HIDRAULICOS Y GEOMETRICOS

#### SECCION DE AFORO

Número del Aforo:

1 Nombre del cauce	Cuenca del Rio Irubí
2 Nombre del sitio de aforo	Río Irubí
3 Institución/Responsable/Proyecto	UTN - ELIANA-RNR
4 Observaciones de la sección de aforo	0

#### DATOS HIDRÁULICOS Y GEOMETRICOS

1 Caudal Medio en sección de Aforo (m <sup>3</sup> /s y en l/s)	1.50 m <sup>3</sup> /s	1,497.30 l/s
2 Area Mojada de la sección transversal (m <sup>2</sup> )	3.02	
3 Velocidad media (m/s)	0.50	
4 Perímetro Mojado de la sección transversal (m)	6.56	
5 Espejo de agua (m)	6.00	
6 Tirante máximo (m)	0.70	
7 Profundidad Hidráulica (m)	0.50	
8 Radio Hidráulico (m)	0.46	
9 Número de Froude	0.22	
10 Régimen de Flujo	Régimen Subcrítico	

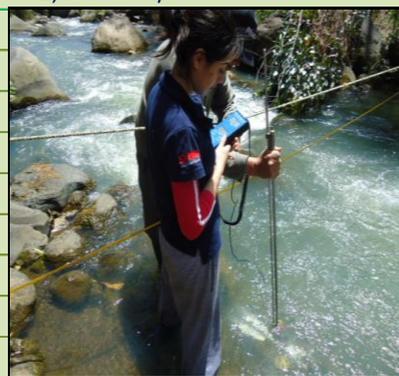


Imagen del sitio de aforo

#### LOCALIZACION DE LA SECCION DE AFORO

1 Provincia/Cantón/Parroquia	IMBABURA/COTACACHI/
2 Cuenca Hidrográfica	Río Esmeraldas
3 Código Pfastetter	0
4 COORDENADA X UTM (m) (Sitio Aforo)	786003.00
5 COORDENADA Y UTM (m) (Sitio Aforo)	10045629.00
6 Cota (m) (Sitio Aforo)	2054.00

#### REALIZACION DE AFORO

1 Fecha/Hora	July 25, 2015	10H00
2 Responsable de Aforo	Eliana Pantoja	
3 Responsable de Cálculo	Eliana Pantoja	

#### INSTRUMENTAL

1 MARCA/TIPO DE MOLINETE	SIAP
2 CODIGO DE HELICE	Hélice No. 2 - Ensayo No. 212539

/marzo2014

## HOJA 5. Medición del caudal del río Irubí en el mes de agosto.

### PARAMETROS HIDRAULICOS Y GEOMETRICOS

#### SECCION DE AFORO

Número del Aforo:

1 Nombre del cauce	Cuenca del Rio Irubí
2 Nombre del sitio de aforo	Río Irubí
3 Institución/Responsable/Proyecto	UTN - ELIANA-RNR
4 Observaciones de la sección de aforo	0

#### DATOS HIDRÁULICOS Y GEOMETRICOS

1 Caudal Medio en sección de Aforo (m <sup>3</sup> /s y en l/s)	1.66 m <sup>3</sup> /s	1,656.99 l/s
2 Area Mojada de la sección transversal (m <sup>2</sup> )	2.76	
3 Velocidad media (m/s)	0.60	
4 Perímetro Mojado de la sección transversal (m)	6.56	
5 Espejo de agua (m)	6.00	
6 Tirante máximo (m)	0.76	
7 Profundidad Hidráulica (m)	0.46	
8 Radio Hidráulico (m)	0.42	
9 Número de Froude	0.28	
10 Régimen de Flujo	Régimen Subcrítico	



Imagen del sitio de aforo

#### LOCALIZACION DE LA SECCION DE AFORO

1 Provincia/Cantón/Parroquia	IMBABURA/COTACACHI/
2 Cuenca Hidrográfica	Río Esmeraldas
3 Código Pfastetter	0
4 COORDENADA X UTM (m) (Sitio Aforo)	786003.00
5 COORDENADA Y UTM (m) (Sitio Aforo)	10045629.00
6 Cota (m) (Sitio Aforo)	2054.00

#### REALIZACION DE AFORO

1 Fecha/Hora	August 25, 2015	10H00
2 Responsable de Aforo	Eliana Pantoja	
3 Responsable de Cálculo	Eliana Pantoja	

#### INSTRUMENTAL

1 MARCA/TIPO DE MOLINETE	SIAP
2 CODIGO DE HELICE	Hélice No. 2 - Ensayo No. 212539

/marzo2014

## HOJA 6. Medición del caudal del río Irubí en el mes de octubre.

### PARAMETROS HIDRAULICOS Y GEOMETRICOS

#### SECCION DE AFORO

Número del Aforo:

1 Nombre del cauce	Cuenca del Rio Irubí
2 Nombre del sitio de aforo	Rio Irubí
3 Institución/Responsable/Proyecto	UTN - ELIANA-RNR
4 Observaciones de la sección de aforo	0

#### DATOS HIDRÁULICOS Y GEOMETRICOS

1 Caudal Medio en sección de Aforo (m3/s y en l/s)	1.85 m3/s	1,846.18 l/s
2 Area Mojada de la sección transversal (m2)	2.20	
3 Velocidad media (m/s)	0.84	
4 Perímetro Mojado de la sección transversal (m)	6.04	
5 Espejo de agua (m)	6.00	
6 Tirante máximo (m)	0.58	
7 Profundidad Hidráulica (m)	0.37	
8 Radio Hidráulico (m)	0.36	
9 Número de Froude	0.44	
10 Régimen de Flujo	Régimen Subcrítico	



Imagen del sitio de aforo

#### LOCALIZACION DE LA SECCION DE AFORO

1 Provincia/Cantón/Parroquia	IMBABURA/COTACACHI/
2 Cuenca Hidrográfica	Río Esmeraldas
3 Código Pfastetter	0
4 COORDENADA X UTM (m) (Sitio Aforo)	786003.00
5 COORDENADA Y UTM (m) (Sitio Aforo)	10045629.00
6 Cota (m) (Sitio Aforo)	2054.00

#### REALIZACION DE AFORO

1 Fecha/Hora	October 10, 2014	11H00
2 Responsable de Aforo	Eliana Pantoja	
3 Responsable de Cálculo	Eliana Pantoja	

#### INSTRUMENTAL

1 MARCA/TIPO DE MOLINETE	SIAP
2 CODIGO DE HELICE	Hélice No. 2 - Ensayo No. 212539

/marzo2014

**HOJA 7.** Medición del caudal del río Irubí en el mes de diciembre.

**PARAMETROS HIDRAULICOS Y GEOMETRICOS**

**SECCION DE AFORO**

Número del Aforo:

1 Nombre del cauce	Cuenca del Rio Irubí
2 Nombre del sitio de aforo	Río Irubí
3 Institución/Responsable/Proyecto	UTN - ELIANA-RNR
4 Observaciones de la sección de aforo	0

**DATOS HIDRÁULICOS Y GEOMETRICOS**

1 Caudal Medio en sección de Aforo (m <sup>3</sup> /s y en l/s)	2.75 m <sup>3</sup> /s	2,751.25 l/s
2 Area Mojada de la sección transversal (m <sup>2</sup> )	3.97	
3 Velocidad media (m/s)	0.69	
4 Perímetro Mojado de la sección transversal (m)	6.30	
5 Espejo de agua (m)	6.00	
6 Tirante máximo (m)	0.84	
7 Profundidad Hidráulica (m)	0.66	
8 Radio Hidráulico (m)	0.63	
9 Número de Froude	0.27	
10 Régimen de Flujo	Régimen Subcrítico	



Imagen del sitio de aforo

**LOCALIZACION DE LA SECCION DE AFORO**

1 Provincia/Cantón/Parroquia	IMBABURA/COTACACHI/
2 Cuenca Hidrográfica	Río Esmeraldas
3 Código Pfastetter	0
4 COORDENADA X UTM (m) (Sitio Aforo)	786003.00
5 COORDENADA Y UTM (m) (Sitio Aforo)	10045629.00
6 Cota (m) (Sitio Aforo)	2054.00

**REALIZACION DE AFORO**

1 Fecha/Hora	December 13, 2014	10H00
2 Responsable de Aforo	Eliana Pantoja	
3 Responsable de Cálculo	Eliana Pantoja	

**INSTRUMENTAL**

1 MARCA/TIPO DE MOLINETE	SIAP
2 CODIGO DE HELICE	Hélice No. 2 - Ensayo No. 212539

/marzo2014

### ANEXO 3

#### FOTOGRAFIAS FASE DE CAMPO AFOROS ÉPOCA SECA



**Fotografía 1.** Preparación del equipo



**Fotografía 2.** Aforo del mes de Julio



**Fotografía 3.** Disminución de caudal



**Fotografía 6.** Aforo río Irubí época seca

## AFOROS EPOCA LLUVIOSA



**Fotografía 7.** Aforo del mes de octubre



**Fotografía 8.** Aforo del mes de diciembre



**Fotografía 10.** Aforo del mes de enero



**Fotografía 12.** Rio Irubí en época lluviosa